



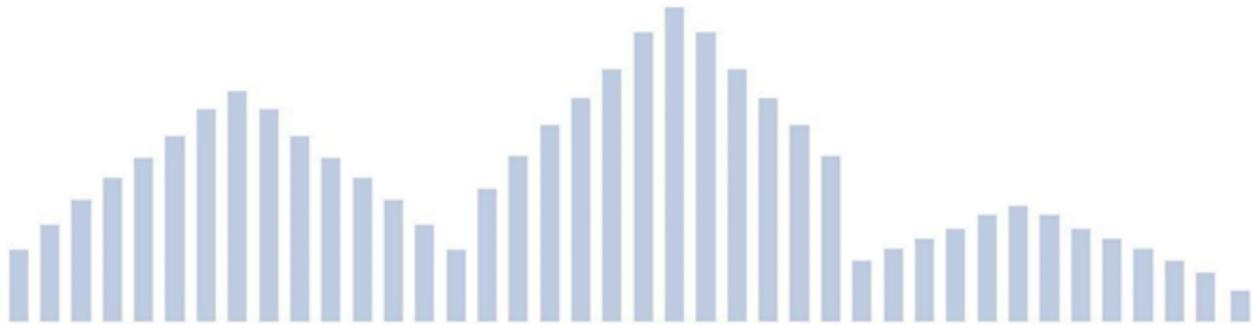
**Interreg**



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



# **Plan local d'adaptation au changement climatique pour le risque inondations de la Commune de Sassari**





**Interreg**



UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

1. Introduction.....	4
Le parcours pour la définition du Plan.....	5
2. Cadre réglementaire.....	8
Analyse des principales criticités locales à l'heure actuelle .....	10
La dangerosité hydraulique en Italie.....	10
La dangerosité hydraulique en Sardaigne.....	19
La dangerosité hydraulique dans le territoire communal.....	25
L'exposition dans le territoire communal.....	37
La capacité d'adaptation dans le territoire communal.....	50
Synthèse du Profil Climatique Local.....	54
Analyse de l'incidence du changement climatique sur les principales criticités locales.....	60
3. Actions d'adaptation et éléments pour la mise en œuvre .....	68
Actions d'adaptation.....	72
4. Mise en œuvre des actions, suivi et évaluation.....	90
Suivi du plan .....	92
Suivi des indicateurs de risque et de vulnérabilité .....	94
Suivi des actions .....	96
5. Conclusions .....	101
6. Glossaire.....	102
Bibliographie.....	109
Annexe A.....	112
Annexe B.....	124
Annexe C.....	167



**Interreg**



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Ce document a été élaboré par la Fondation « Centre Euro-Méditerranéen sur le Changement Climatique » (CMCC).

Auteurs (par ordre alphabétique): Marianna Adinolfi, Carmela Apreda, Valentina Bacci, Giulia Galluccio, Serena Marras, Paola Mercogliano, Valentina Mereu, Roberta Padulano, Guido Rianna, Eugenio Sini, Marcella Sodde, Veronica Villani, Nicola Ciro Zollo



**Interreg**



UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



## Introduction

Le changement climatique représente un des défis les plus importants à l'échelle mondiale. Les études scientifiques les plus récentes soulignent que, au cours des prochaines décennies, l'Europe méridionale et le bassin méditerranéen devront faire face aux impacts les plus significatifs du changement climatique et qu'ils seront parmi les zones à haut risque de la planète, en particulier pour ce qui concerne l'augmentation des températures, la réduction des précipitations et l'intensification des événements extrêmes (vagues de chaleur, précipitations intenses, etc.). Pour faire face à cette situation, les politiques climatiques adoptées au niveau international ont identifié la nécessité de promouvoir, à niveaux et échelles différents, l'adoption de stratégies et actions d'adaptation au changement climatique. Les villes ont un rôle particulièrement important dans ce procès car elles doivent, d'un côté, concourir à atteindre les objectifs d'atténuation et, de l'autre côté, s'adapter à la mutation des conditions climatiques, en cherchant, autant que possible, à réduire les impacts négatifs causés par le climat et en augmentant leur résilience.

Le projet ADAPT "Assister l'adaptation au changement climatique des systèmes urbains de l'espace Transfrontalier" s'insère dans ce cadre. Cofinancé par le Programme Interreg « Italie-France Maritime 2014-2020 », le projet, coordonné par ANCI Toscane, engage des pouvoirs publics italiens (notamment la Commune de Sassari) et français compétents en matière de gestion du risque, aménagement du territoire et recherche scientifique dans le secteur, ayant l'objectif de doter les villes partenaires avec approches et instruments pour s'adapter aux conséquences du changement climatique, avec une référence particulière aux inondations causées par les précipitations intenses.

Dans le cadre du projet ADAPT, la Commune de Sassari, avec le soutien de la Fondation CMCC, a réalisé des événements de sensibilisation (*social adapt*) et de formation (*empowerment*) au sujet de l'adaptation au changement climatique, avec une référence particulière aux inondations urbaines par les eaux pluviales, visant à améliorer les connaissances et les compétences du territoire en engageant citoyens, responsables techniques et politiques de l'administration publique.



**Interreg**



UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Dans le cadre du projet on a aussi produit des Analyses Territoriales et Tematiques. On a également élaboré un Profil Climatique Local pour la Commune de Sassari, avec l'indication des projections climatiques attendues d'ici à la fin du siècle.

Les résultats de ces analyses et activités ont conduit à l'élaboration des éléments essentiels pour la rédaction du plan d'adaptation au changement climatique pour le risque d'inondations urbaines.

Ce document, développé en accord avec les lignes directrices proposées par le chef de file du projet, ANCI Toscane, présent les éléments du Plan d'Adaptation au Changement climatique pour le risque inondations pour la Commune de Sassari où, en aval de l'analyse des criticités territoriales en termes de dangerosité, exposition et capacité de faire face au changement climatique, 30 actions d'adaptation ont été identifiées pour la gestion des risques causés par les inondations, dans une optique de changement climatique. Egalement, on a identifié les indicateurs pour l'évaluation de la mise en œuvre des actions et de leurs efficacité, en vue des futures mises à jour de ce document.

## Le parcours pour la définition du Plan

Le parcours pour la définition d'un plan d'adaptation au changement climatique prévoit une phase de démarrage, pendant laquelle quelques éléments utiles doivent être identifiés pour garantir l'efficacité du procès.

Entre eux, l'identification du responsable du plan et du groupe de travail, l'engagement des parties prenantes, l'information et sensibilisation des citoyens, la formation des techniciens et des administrateurs et les analyses préliminaires telles que l'évaluation de la situation des politiques en matière d'adaptation en cours dans la Commune et l'élaboration du Profil Climatique Local.

Chaque phase de développement du plan d'adaptation au risque inondations pour la Commune de Sassari, y compris sa mise en œuvre et son suivi, est gérée par le Service de Durabilité Environnementale du Secteur Environnement, qui a coordonné l'engagement et les contributions des référents des bureaux techniques de la Commune et des administrateurs pour la définition des éléments du Plan.



**Interreg**



UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Un autre parmi les aspects prioritaires à définir pour le début d'un parcours d'adaptation, outre à l'identification d'un responsable, est la définition du groupe de travail et l'engagement des parties prenantes. Le développement du plan d'adaptation pour la Commune de Sassari, en tant que produit du projet ADAPT, a pu s'avaler, tout d'abord, des structures de soutien à l'élaboration du plan, à savoir:

- le *Groupe de Travail* qui fournit l'assistance technique pour soutenir les partenaires dans la mise en œuvre des actions de projet;
- le *Comité transfrontalier ADAPT* qui fournit le soutien politique et institutionnel;
- le PUA, *Partenariat Urbain pour l'Adaptation*, qui a pour tâche de soutenir la participation active de la société civile.

Le PUA, en particulier, a été un outil essentiel de soutien à l'administration et aux référents techniques pendant le parcours qui a mené à la définition du Plan. Le PUA a été formellement constitué à Sassari au cours de la rencontre du 14/11/2017, qui a vu la participation des principales parties prenantes.

Spécifiquement, l'adhésion au PUA de Sassari a été signé par les représentants des organes directeurs des Ordres Professionnels des Docteurs Agronomes et Forestiers, des Géologues et des Architectes; représentants de la Chambre de Commerce, de Coldiretti, de Confapi (Association des Petites et Moyennes Entreprises de la Sardaigne), de Legambiente, WWF et Protection Civile régionale. Le PUA a également été signé par les représentants du Département d'Agronomie de l'Université des Etudes de Sassari et d'ARPA Sardaigne, les référents des 4 projets présentés à Climathon de 2017, le comité de Sant'Orsola et quelques représentants de la Commune de Sassari faisant partie des secteurs suivants: police communale, protection civile, travaux publics et entretien, service énergie et évaluations environnementales, aménagement urbain. Le PUA a été convoqué à plusieurs occasions pour la présentation des résultats du projet et pour la discussion, identification et définition des actions d'adaptation à inclure dans le Plan.

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

La ville a été intéressée pendant les deux événements de Social Adapt, par CMCC, organisés respectivement au début et à mi-projet, l'objectif étant de sensibiliser la population par rapport aux thèmes qui font l'objet de l'étude et d'acquérir le point de vue des citoyens et des parties prenantes sur les criticités et les possibles solutions à mettre en œuvre sur le territoire pour faire face au risque d'inondations urbaines. La ville a également été consultée à l'aide d'un questionnaire en ligne, dont les résultats sont présentés dans l'annexe C de ce document.

Dans les premières phases de développement du plan, CMCC a aussi organisé une session Empowerment, visant à la formation des techniciens et des administrateurs communaux sur les thèmes faisant l'objet du plan. Les événements Social Adapt et la session Empowerment étaient des activités faisant partie du projet ADAPT au soutien du parcours d'adaptation et du développement de ce plan.

Les éléments propédeutiques au développement du plan ont compris les analyses relatives à l'évaluation de la situation des politiques en matière d'adaptation en cours dans la Commune et l'élaboration du Profil Climatique Local. Pour ce qui est de l'analyse des politiques municipales, elle a intéressé les instruments stratégiques et juridiques en vigueur dans la Commune au sujet du risque inondations. Un cadre synthétique de cette analyse a été discuté dans le produit "Analyses territoriaux et thématiques" du projet ADAPT, qui reprend les documents politiques, les plans et les programmes, les projets nationaux et internationaux, les initiatives et les actions d'adaptation déjà mises en œuvre dans le domaine communal, en soulignant celles qui sont plus spécifiquement inhérentes au risque inondations. Ce cadre de connaissances a permis de définir les objectifs de l'adaptation et les analyses à la base de l'étude.

L'analyse du Profil Climatique Local de la Commune de Sassari, fondée sur les observations et projections climatiques disponibles à l'heure actuelle, a permis de caractériser la variabilité climatique locale observée et les anomalies climatiques attendues à l'avenir, localement, à cause du changement climatique. A partir de ces éléments, on a pu développer des analyses ultérieures détaillées, concernant la dangerosité, l'exposition et la capacité d'adaptation du territoire, la base de la définition et du choix des actions d'adaptation pour faire face au risque inondations dans le territoire communal.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



## Cadre réglementaire

La dégradation hydrogéologique représent depuis toujours un point très critique pour l'Italie, à cause des impacts sur la population, les infrastructures de communication et le tissu économique et productif. La naturelle propension du territoire italien aux inondations et aux éboulements, typiquement liée aux caractéristiques morphologiques du territoire national (où les espaces et les distances du réseau hydrographique sont très limités par la présence des montagnes et de la mer), a été accentuée par l'abandon des zones rurales de colline et de montagne, en faveur des zones urbanisées, notamment à partir du second après-guerre, souvent en l'absence d'un aménagement du territoire correcte, ce qui a provoqué une augmentation généralisée de la partie de territoire à risque.

Du point de vue juridique, à l'exception du Décret Royal n. 3267 de 30 décembre 1923 – axé sur la contrainte hydrogéologique, la gestion des forêts et l'aménagement hydraulique-forestier des bassins montagneux – l'Italie a enregistré, jusqu'à 1989, un fort retard dans la promulgation de dispositions législatives imposant la considération des phénomènes d'origine naturelle, tels qu'éboulements et inondations, dans l'aménagement urbain et du territoire. La Loi n. 183 de 18 mai 1989, inspirée au résultats de la Commission De Marchi, a été, en fait, la première règle organique pour la réorganisation fonctionnelle de la protection des sols identifiant le bassin hydrographique comme la base territoriale de référence pour la protection hydrogéologique et les Autorités de bassin en tant qu'institutions responsables de l'élaboration du Plan de Bassin. Ce dernier est un outil fondamental pour l'aménagement du territoire et la planification d'ouvrages d'aménagement et il est superposé aux autres plans de niveau régional, provincial et local.

Cependant, jusqu'à l'événement catastrophique de Sarno du 5 mai 1998, la Loi 183/89 n'a pas connu une pleine mise en œuvre, à l'exception des rare plans-tranches adoptés. Avec l'adoption du Décret-Loi n.180 du 11 juin 1998, converti dans la Loi 267/1998, on a accéléré l'identification, la délimitation et la classification des zones dangereuses et à risque hydrogéologique par éboulements et inondations, l'adoption des Plans-tranches de bassin pour l'aménagement hydrogéologique (PAI) et des mesures de sauvegarde avec contraintes et réglementations pour l'utilisation du territoire. Ensuite, la Loi 183/89 a été abrogée et partiellement intégrée par le Décret Législatif 152/2006.

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

A présent, la Directive 2007/60/CE, connue comme Directive inondations (*Floods Directive - FD*), adopté en 2007 et intégrée dans la législation nationale seulement trois ans après, par le D.Lég. 49 du 23 février 2010, discipline l'approche à la gestion du risque inondations. En particulier, la Directive souligne comme, à part la propension naturelle du territoire aux phénomènes de dégradation, quelques pratiques actuelles peuvent aggraver la situation, en agissant sur la dangerosité et en augmentant les éléments exposés à un possible endommagement en cas de catastrophes naturelles. Des exemples typiques en sont la croissance des agglomérations urbaines, l'augmentation des activités économiques, la reduction de la capacité naturelle de détention du sol, du à la progressive imperméabilisation des surfaces, et la subtraction de zones d'expansion naturelles des crues. Par conséquent, la Directive déclare la nécessité de se doter d'instruments juridiques visant à la correcte gestion des cas d'urgence, mais aussi à la discipline et réglementation de l'aménagement du territoire, en termes d'utilisation et d'entretien, par la mise en œuvre de mesures de sauvegarde appropriées. Certainement, cette stratégie doit partir d'une connaissance du territoire adéquate et par la définition et quantification de la dangerosité, à savoir de la probabilité qu'une inondation d'intensité prévue, et de sa fréquence, puisse avoir lieu. D'où la nécessité par les Autorités compétentes (en particulier, les Autorités de Bassin, ensuite regroupées dans les Autorités de District Hydrographique) de se doter d'outils de connaissance adéquats, intégrés dans le Plan de Gestion du Risque inondations (PGRI), pour l'évaluation préliminaire du risque inondation et l'identification des zones à risque d'inondation potentiel et significatif.

La délimitation des zones exposées au risque potentiel d'inondation a été faite, au cours des années, en suivant des approches et niveaux détaillés différents par les Autorités. Ce n'est qu'au cours des dernières années que ces études ont été uniformisées afin d'obtenir une caractérisation homogène au niveau national, en particulier à l'égard des scénarios de dangerosité utilisés pour la délimitation des zones à risque inondation ; ces scénarios sont définis comme suit:

1. Dangerosité faible (P1). Les parties du territoire associées à ce niveau de dangerosité ont une faible probabilité d'inondation, ou de crues exceptionnelles, avec une période de retour  $T$  de 300-500 années;
2. Dangerosité moyenne (P2). Les parties du territoire associées à ce niveau de dangerosité sont inondées par une crue correspondant à une période de retour  $T$  de 100-200 années;



**Interreg**



UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



3. Dangerosité élevée (P3). Les parties du territoire associées à ce niveau de dangerosité sont inondées par une crue correspondant à une période de retour  $T$  de 20-50 années.

L'adoption homogène de ces scénarios par les Autorités compétentes a permis le "mosaïcage", c'est-à-dire la création d'un plan de dangerosité unique à l'échelle nationale, qui synthétise les résultats des différentes études effectuées à l'échelle locale.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



# Analyse des principales criticités locales à l'heure actuelle

## La dangerosité hydraulique en Italie

La source la plus récente de l'encadrement du territoire national dans le contexte du risque inondation est le dernier Rapport ISPRA sur la Dégradation Hydrogéologique (Trigila et al., 2018), qui offre une vue d'ensemble de la situation italienne en termes d'éléments de dangerosité et d'exposition, en présentant une synthèse à l'échelle régionale. Les données utilisées dans le Rapport sont essentiellement les Cartes de Dangerosité Hydraulique, issues des études hydrauliques et hydrologiques conduites par les Autorités de Bassin/District Hydrographique et présentées dans les Plan-Tranches pour l'Aménagement Hydrologique (PAI) constamment mises à jour au cours des années, et les études ISTAT pour la définition des éléments (habitations, activités productives, tissu industriel, patrimoine culturel) exposés au risque.

Maintenant, les zones à dangerosité hydraulique élevée en Italie couvrent 12.405 km<sup>2</sup>, c'est-à-dire 4.1% du territoire national (Figure 1), celles à dangerosité moyenne se montent à 25.398 km<sup>2</sup> (8.4%) (Figure 2), celles à dangerosité faible à 32.961 km<sup>2</sup> (10.9%) (Figure 3). Cependant, le mosaïcage ne montre pas les scénarios à dangerosité élevée P3 et à faible dangerosité P1 pour le territoire de l'ex-Autorité de Bassin Régional de la Région des Marche. Le scénario à dangerosité faible P1 n'est même pas disponible pour le territoire de l'ex-Autorité de Bassin Conca-Marecchia et des Bassins Régionaux de Romagne, ni pour le réseau irrigation et assèchement du territoire du bassin du Po, relevant de la Région d'Emilie-Romagne. L'analyse du mosaïcage indique une certaine hétérogénéité liée au réseau hydrographique de référence délimité: dans quelques régions du territoire national on a modelé surtout le réseau principal, dans d'autres régions le réseau secondaire de colline et de montagne a également été analysé en détail (par ex., Région Vallée d'Aoste), ou le réseau secondaire de plaine (par ex., canaux de bonification; Région d'Emilie-Romagne). Le mosaïcage de 2018 indique également la nécessité d'une mise à jour continue des données; en effet, le mosaïcage ISPRA 2015 montre une augmentation des superficies exposées à tous les scénarios de dangerosité, de l'ordre de 1 à 4 points de pourcentage, qui a intéressé, en particulier, la région de Sardaigne, le bassin du



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Po en Lombardie, les bassins des Marche, du Tibre dans le Latium, le bassin du fleuve Arno, ceux de la Toscane et de la Pouille.

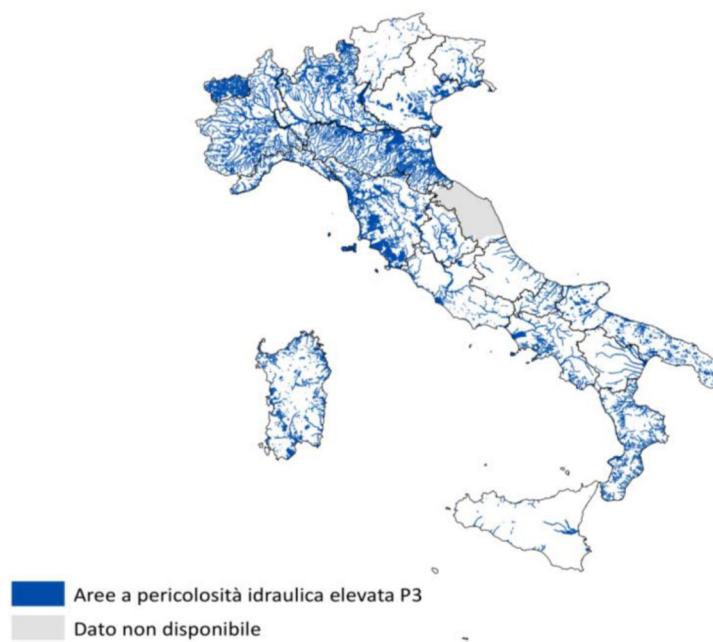


Figure 1: Mosaïcage des zones à dangerosité hydraulique élevée (P3 – T=20-50 années) (Trigila et al., 2018)

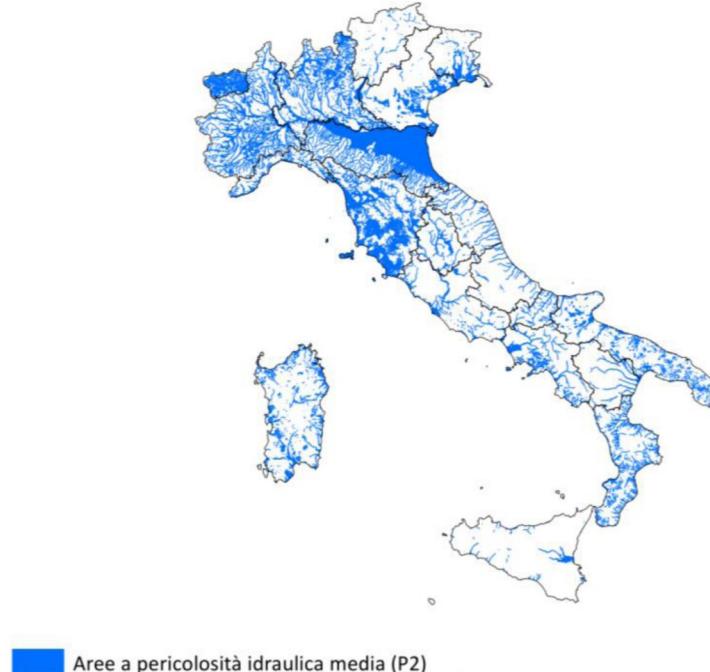


Figure 2: Mosaïcage des zones à dangerosité hydraulique moyenne (P2 – T=100-200 années) (Trigila et al., 2018)

La cooperazione al cuore del Mediterraneo  
La coopération au cœur de la Méditerranée



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

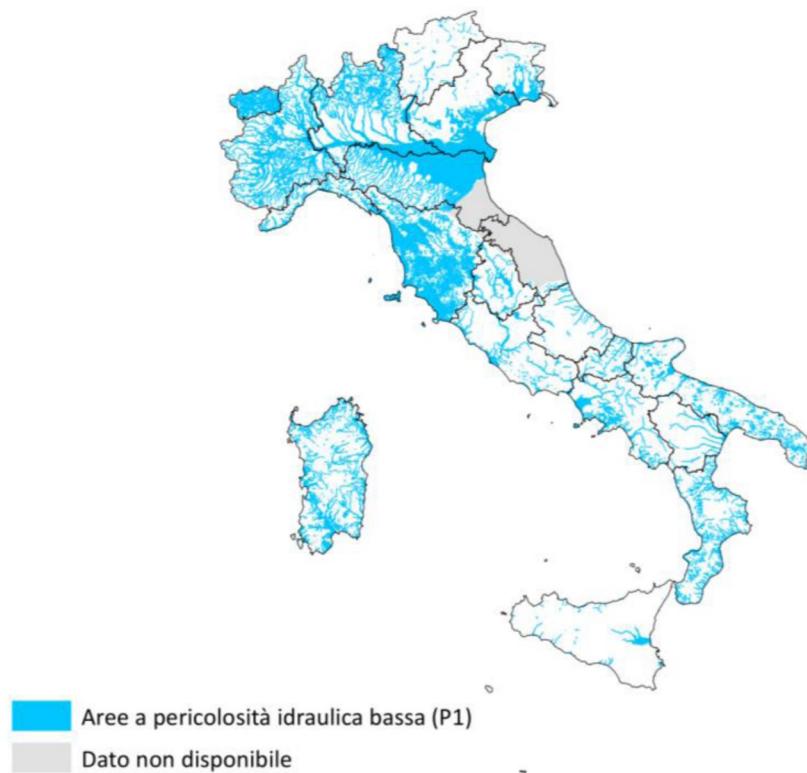


Figure 3: Mosaïcage des zones à dangerosité hydraulique faible (P1 – T=300-500 années) (Trigila et al., 2018)



# Interreg



UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

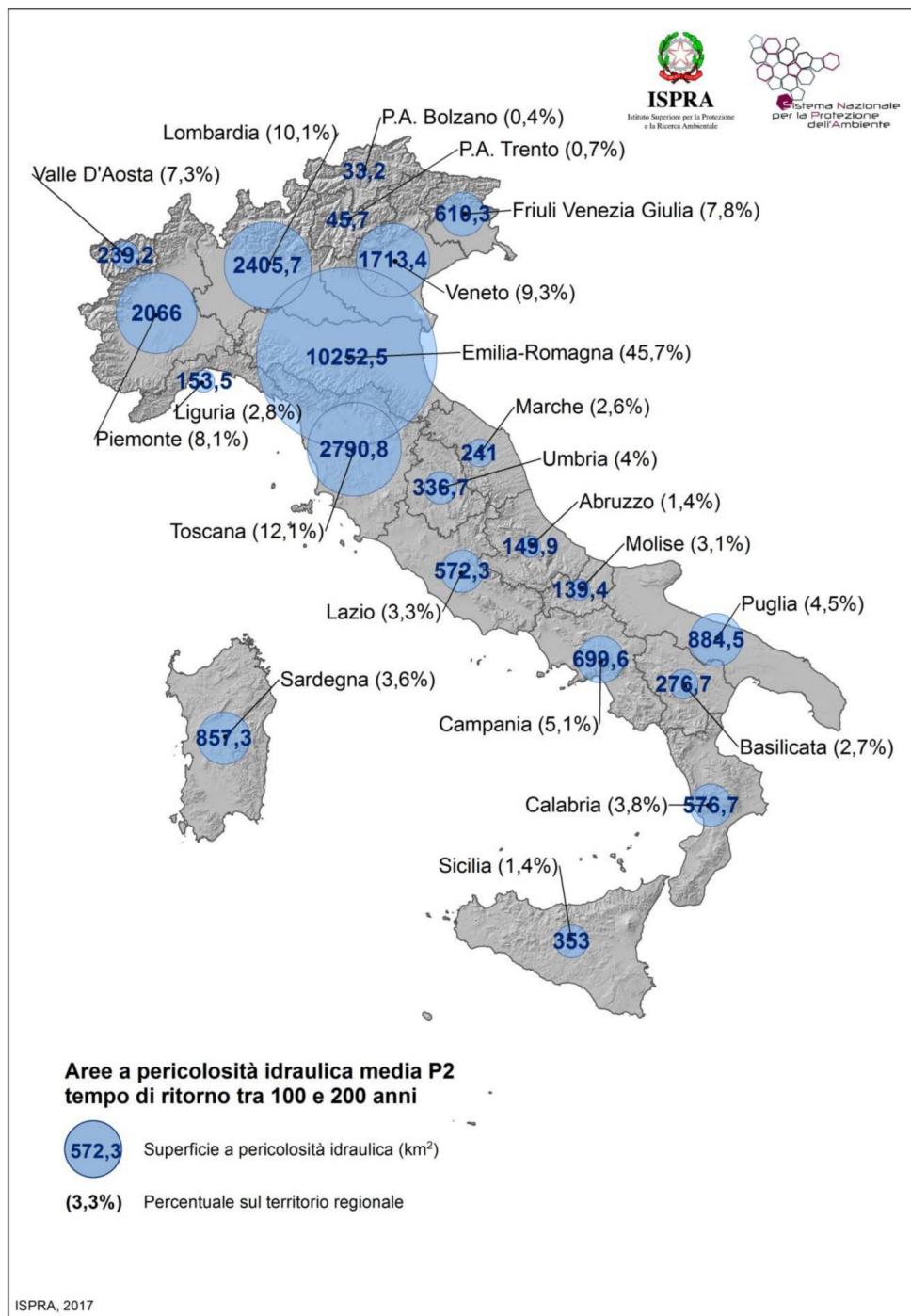


Figure 4: Zones à dangerosité hydraulique moyenne (P2) au niveau régional (Trigila et al., 2018)

La représentation synthétique des zones à dangerosité hydraulique moyenne en Figure 4 montre que, dans le territoire de la Région de Sardaigne, 3,6% de la superficie régionale, égale

La cooperazione al cuore del Mediterraneo  
La coopération au cœur de la Méditerranée



# Interreg



## MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

à 857.3 km<sup>2</sup>, est compris dans le périmètre relatif à ce scénario. A cette superficie correspondent 73 Communes, c'est-à-dire 19.4% du nombre total des Communes dans la région. La Figure 1 montre en détail que, dans les 5 provinces sardes, celles de Cagliari et Oristano ont le territoire le plus sujet aux criticités en termes d'inondations, tant en termes administratifs que d'étendue du territoire.

Tableau 1: Dangerosité moyenne P2 (valeurs de référence pour la Sardaigne)

	n. Communes	Zone Province	Communes à dangerosité moyenne P2		Zones à dangerosité moyenne P2
	n.	km <sup>2</sup>	n.	%	km <sup>2</sup>
<b>Sassari</b>	92	7.692,1	3	3,3	169,7
<b>Nuoro</b>	74	5.638,0	3	4,1	136,4
<b>Cagliari</b>	17	1.248,7	5	29,4	108,2
<b>Oristano</b>	87	2.990,4	33	37,9	198,3
<b>Sud de la Sardaigne</b>	107	6.530,7	29	27,1	244,8

En dépit d'un pourcentage de Communes compris dans les zones délimitées relativement faible, il semble clair que le niveau de conscience des pouvoirs publics au sujet de la dangerosité causée par les inondations est encore insuffisant. Dans le cadre du projet "Ecosystème Risque" de Legambiente, l'analyse des données indiquées dans le Rapport de 2017 (Legambiente, 2017) montre que, dans toute l'Italie, le pourcentage de Communes qui portent une attention aux thèmes du risque hydraulique est encore très faible et inégal le long de la Péninsule (globalement, seulement 1462 administrations municipales ont adhéré à l'initiative, à savoir environ 20% des Communes classés par ISPRA comme ayant une dangerosité hydrogéologique élevée). Pour ce qui est de la Région de Sardaigne, en particulier, seulement 39 Communes (12% du total) a répondu au questionnaire distribué par Legambiente, lié aux thèmes en question. Le questionnaire, notamment la seconde partie intitulée "Aménagement du territoire", centrée sur l'aménagement du territoire actuel et les interventions mises en œuvre pour une utilisation du sol correcte, porte sur les éléments suivants:

- la réception dans les plans d'aménagement du territoire des périmètres contenus dans le PAI, relatifs à l'adoption des réglementations appropriées pour la protection des zones les plus vulnérables;



**Interreg**



UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

- l'existence de la délocalisation des structures présentes dans les zones les plus à risque, dans la mesure du possible;
- l'existence d'un éventuel entretien ordinaire des rives, ou d'ouvrages de défense hydraulique, effectués par la Commune dans le territoire de compétence et dans le territoire en général;
- l'existence d'éventuelles interventions mises en place pour l'atténuation du risque et leur typologie (il est important de souligner, à ce propos, que les activités d'entretien des cours d'eau et les interventions de mise en sécurité ne ressortent souvent de la compétence directe des administrations municipales, mais plutôt de celle d'autres autorités de niveau supérieur).

La Tableau 2 indique les résultats du questionnaire de Legambiente relatifs à l'an 2017. En particulier, à l'égard de la pure conscience relative à la dangerosité hydraulique, on remarque que seul 61.5% des Communes sardes a retenu le Plan d'Aménagement Hydrogéologique de compétence au sein de leurs Plans d'Urbanisme (24 Communes sur 39). Ce pourcentage, déjà inquiétant en soi, est aussi considérablement inférieur à la moyenne des administrations interrogées sur tout le territoire national (78.3%). Il faut remarquer que la mise en œuvre des zones délimitées selon le PAI à l'intérieur des PUC devrait être une obligation juridique et, par conséquent, le manquement de 38.5% (21.7% sur tout le territoire national) des administrations interrogées sur ce point montre qu'il reste encore beaucoup à faire sur les territoires. Pareillement, seul 53.8% des Communes sardes interrogées (21 sur 39) déclare avoir effectué des ouvrages d'entretien extraordinaire au cours de la dernière année, contre 70.1% au niveau national. Enfin, le pourcentage de Communes qui recourent au remblayage des cours d'eau comme mesure d'atténuation du risque hydraulique est encore haut.

**Tableau 2: Résultats du questionnaire “Ecosystème Risque” (Legambiente, 2016)**

Activités de prévention	Italie		Sardaigne
	n. Communes	%	n. Communes
Entréseauxen ordinaire au cours de la dernière année	1025	70,1	21
Ouvrages d'atténuation du risque	952	65,1	22
Remblayage des cours d'eau	137	9,4	3
Délocalisation de logements	59	4,0	1
Délocalisation di bâtiments industriels	29	2,0	0
Mise en œuvre du PAI dans le plan d'urbanisme	1145	78,3	24



**Interreg**



UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Selon le Rapport ISPRA 2018 (Trigila et al., 2018), la Sardaigne n'est pas classée parmi les régions à haute criticité, si l'on ne considère que le pourcentage de superficie compris à l'intérieur des zones dangereuses, comme indiqué au Tableau 1. Cependant, la nécessité de faire de sorte que l'aménagement du territoire puisse améliorer quant aux inondations se fait urgente, surtout si l'on regarde, par exemple, les pourcentages de mortalité liés aux événements d'inondation, comme indiqué en Figure 5 et Figure 6. Ces données se réfèrent au dernier Rapport Périodique sur le risque pour la population italienne causé par éboulements et inondations (IRPI-CNR, 2018).

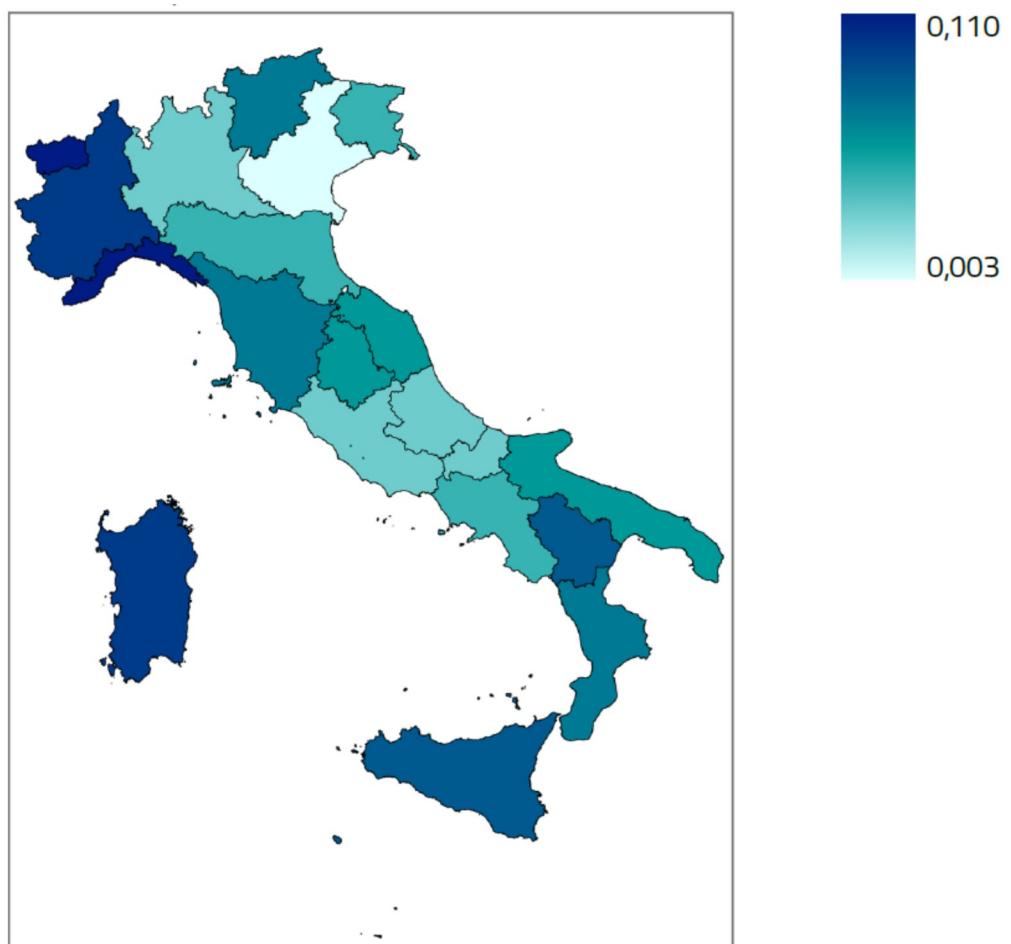


Figure 5: Mortalité par inondation en Italie (CNR-IRPI, 2018)



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

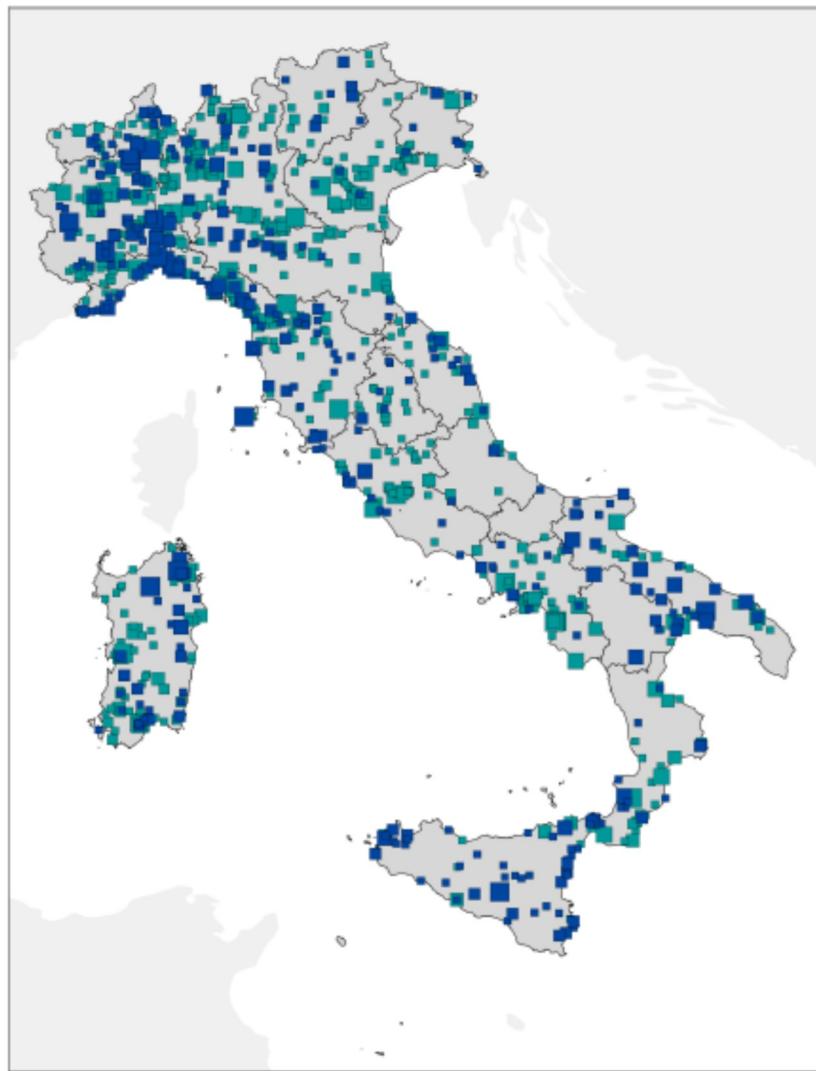


Figure 6: Schéma des inondations avec victimes dans la période 1968-2017 (CNR-IRPI, 2018)

## La dangerosité hydraulique en Sardaigne

Pour une compréhension adéquate des méthodes d'évaluation de la dangerosité hydraulique dans la Région de Sardaigne, y compris les objectifs et les implications du sujet, les documents suivants offrent des outils juridiques et planificateurs cohérents et intégrés:

- Le Plan d'Aménagement hydrogéologique (PAI);
- Le Plan Fleuves pour l'aménagement des zones fluviales (Plan-Tranche) (PSFF);
- Le Plan de Gestion du district hydrographique (PG);
- Le Plan de Gestion du Risque Inondations (PGRI).

Ci-après, on présente une définition de ces outils, afin de résumer et retenir les informations utiles aux objectifs de ce plan local d'adaptation au changement climatique.

### Le Plan d'Aménagement hydrogéologique

Le Plan d'Aménagement hydrogéologique (PAI) est l'outil de connaissance juridique, technique et opérationnel par lequel les actions et les règles d'usage sont planifiées, visant à la protection et à la mise en valeur des sols et à la prévention du risque hydrogéologique, sur la base des caractéristiques physiques et environnementales du territoire intéressé. Les mesures de sauvegarde pertinentes au plan ont pris effet en Sardaigne, dans leur version définitive, en 2005 et le Plan, dans son intégralité, a été approuvé définitivement en juillet 2006. Le PAI représente un procès de planification dynamique, car l'aménagement hydrogéologique et ses caractéristiques physiques et environnementales sont soumises à une évolution constante caractérisée par des changements à long terme, liés à l'évolution hydrogéologique naturelle du territoire, notamment par des altérations et/ou changements rapides résultant d'événements de dégradation en raison des perturbations anthropiques. Ce développement progressif du Plan implique une importante activité d'approfondissement et affinement des connaissances de l'aménagement hydrogéologique, à travers l'analyse et les études plus détaillées. La définition des critères et des prescriptions générales en matière de dangerosité hydraulique fait partie des fonctions du PAI.

### Le Plan Fleuves

Le Plan-Tranche Fleuves (PSFF) se veut porteur d'un Plan territorial du secteur et constitue un outil de connaissances, juridique, technique et opérationnel pour la planification et programmation des actions et des réglementations pour l'utilisation des fleuves. A ce titre, il représente un approfondissement et une intégration nécessaire au PAI, en tant qu'outil pour la délimitation des régions fluviales (entendues comme zones de dangerosité hydraulique), qui



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

doivent permettre, à travers la programmation d'actions (ouvrages, contraintes, directives), la réalisation d'un aménagement physique du cours d'eau compatible avec la sécurité hydraulique, l'utilisation de la ressource hydrique, l'utilisation des sols (ayant des objectifs d'établissement, agricoles et industriels) et la protection des composants naturelles et environnementales. Les mesures de protection relative aux résultats de cette étude sont devenues opérationnelles, pour la quasi-totalité des corridors fluviaux du plan analysés, à partir de juin 2012. Le PSFF relatif à la Région Sardaigne a été adopté définitivement (à l'exception d'une partie du territoire), par une décision spécifique, en juin 2013 et il a été mis à jour en décembre 2015.

Aux fins de ce Plan, l'approbation du PSFF est très utile dans le cadre des relations monographiques de bassin, contenant des informations et des études géomorphologiques, hydrologiques et hydrauliques.

#### Le Plan de Gestion du District Hydrographique

Le Plan de Gestion du District Hydrographique (PG), adopté par la Directive-cadre sur l'Eau (Directive 2000/60/CE), représent l'outil operationnel qui vise à planifier, mettre en œuvre et suivre les mesures pour la protection, l'assainissement et l'amélioration des masses d'eau de surface et souterraines et favoriser l'utilisation durable des ressources hydriques. L'objectif fondamental de la Directive est d'atteindre un bon état pour toutes les masses d'eau d'ici à 2015, étant un outil pour la planification, la mise en œuvre et le suivi des activités et des mesures nécessaires pour la réalisation des objectifs environnementaux et de durabilité dans l'usage des ressources en eau.

Le PG relatif à la Région Sardaigne, seconde version, a été approuvé par une décision spécifique en octobre 2016.

#### Le Plan de Gestion du Risque Inondations

L'objectif general du Plan de Gestion du Risque inondations (PGRI) est la réduction des effets négatifs des inondations sur la santé humaine, le territoire, les biens, l'environnement, l'héritage culturel et les activités économiques et sociales. Il comprend tous les aspects de la gestion du risque inondations, avec une référence particulière aux mesures non-structurelles finalisées à la prévention, protection et préparation à la survenance des inondations. Ces mesures sont mises en place en raison des caractéristiques spécifiques du bassin hydrographique ou du sous-bassin intéressé. Le PGRI identifie des instruments opérationnels et de *gouvernance* (lignes directrices, bonnes pratiques, accords istitutionnels, modes d'engagement actif de la



**Interreg**



UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

population) finalisés à la gestion des inondations au sens large, afin de réduire les conséquences négatives autant que possible. A cet égard, le Plan de Gestion du Risque Inondations est un outil transversal de lien entre plans et projets différents, ayant un caractère pratique et opératif, mais aussi informatif, de connaissance et de diffusion, pour la gestion des différents aspects de l'organisation et planification relatifs à la gestion des inondations en général.

L'analyse des instruments juridiques définis en précédence, dans leurs versions les plus récentes, permet d'obtenir une série d'informations utiles pour l'analyse de la dangerosité des inondations. Ces informations sont présentées comme des extraits des plans correspondants.

Le PAI de la Région Sardaigne est valide pour le Bassin Hydrographique Unique (par la suite: "District Hydrographique Unique") qui correspond au territoire régional entier, y compris les îles mineures, avec une superficie d'environ 24.000 km<sup>2</sup>; le territoire est divisé en sept sous-bassins (Figure 7):

1. Sous-bassin 1: Sulcis;
2. Sous-bassin 2: Tirso;
3. Sous-bassin 3: Coghinas – Mannu – Temo;
4. Sous-bassin 4: Liscia;
5. Sous-bassin 5: Posada – Cedrino;
6. Sous-bassin 6: Sud-Orientale;
7. Sous-bassin 7: Flumendosa – Campidano – Cixerri.

Pour la Région Sardaigne, le PAI discipline et quantifie la dangerosité hydraulique "Hi" en termes de probabilité de dépassement du débit à la pointe de crue, en identifiant, selon le DPCM 29/09/98, quatre niveaux:

- Dangerosité modérée Hi1, correspondant à une période de retour  $T = 500$  années;
- Dangerosité moyenne Hi2, correspondant à une période de retour  $T = 200$  années;
- Dangerosité élevée Hi3, correspondant à une période de retour  $T = 100$  années;
- Dangerosité très élevée Hi4, correspondant à une période de retour  $T = 50$  années.

Aux fins de la délimitation des zones dangereuses sur le territoire régional, le PAI identifie sur le réseau hydrographique régional un ensemble de tronçons, caractérisés par des conditions particulièrement critiques à l'égard du risque hydraulique. Cette analyse est donc à considérer partielle par rapport à l'étendue territoriale du bassin unique régional. En outre, il est important



**Interreg**



UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

de souligner que les cartes de la dangerosité et du risque d'inondations mises en place dans le cadre du PAI n'obéissent pas aux critères du D.Lgs. 49/2010.

Sur la base des principes méthodologiques contenus dans les Lignes Directrices du PAI, les Communes de la Sardaigne, lors de l'adoption d'instruments urbanistes nouveaux – même au niveau de la mise en œuvre et des variantes générales aux instruments urbanistes en vigueur – ont mené des études spécifiques de compatibilité hydraulique, référencées à tout le territoire communal ou aux zones intéressées par les actes proposés lors de l'adoption, dont les indications ont été évaluées. Par conséquent, en cas de zones nouvelles classées à dangerosité hydrogéologique, elles seraient soumises à l'approbation du Comité Institutionnel de l'Autorité de Bassin.

Par la conséquente rédaction du PSFF, la Région Sardaigne a voulu intégrer et approfondir les études mises en place dans le domaine du PAI en matière d'inondations. En effet, le PSFF a permis de considérer et analyser les branches fluviales le long de leur extension et non plus par des tronçons critiques. L'analyse effectuée par PSFF intéresse le réseau hydrographique des sept sous-bassins définis par le PAI, qui a été subdivisé dans les deux catégories suivantes:

- branches principales, caractérisées par un bassin hydrographique avec une superficie supérieure ou égale à 30 km<sup>2</sup>;
- branches secondaires, c'est-à-dire des tronçons de cours d'eau caractérisés par un bassin hydrographique ayant une extension inférieure à la limite comme ci-dessus et qu'en général ne comprennent le réseau hydrographique mineur tout entier, mais seulement une partie de celui-ci.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

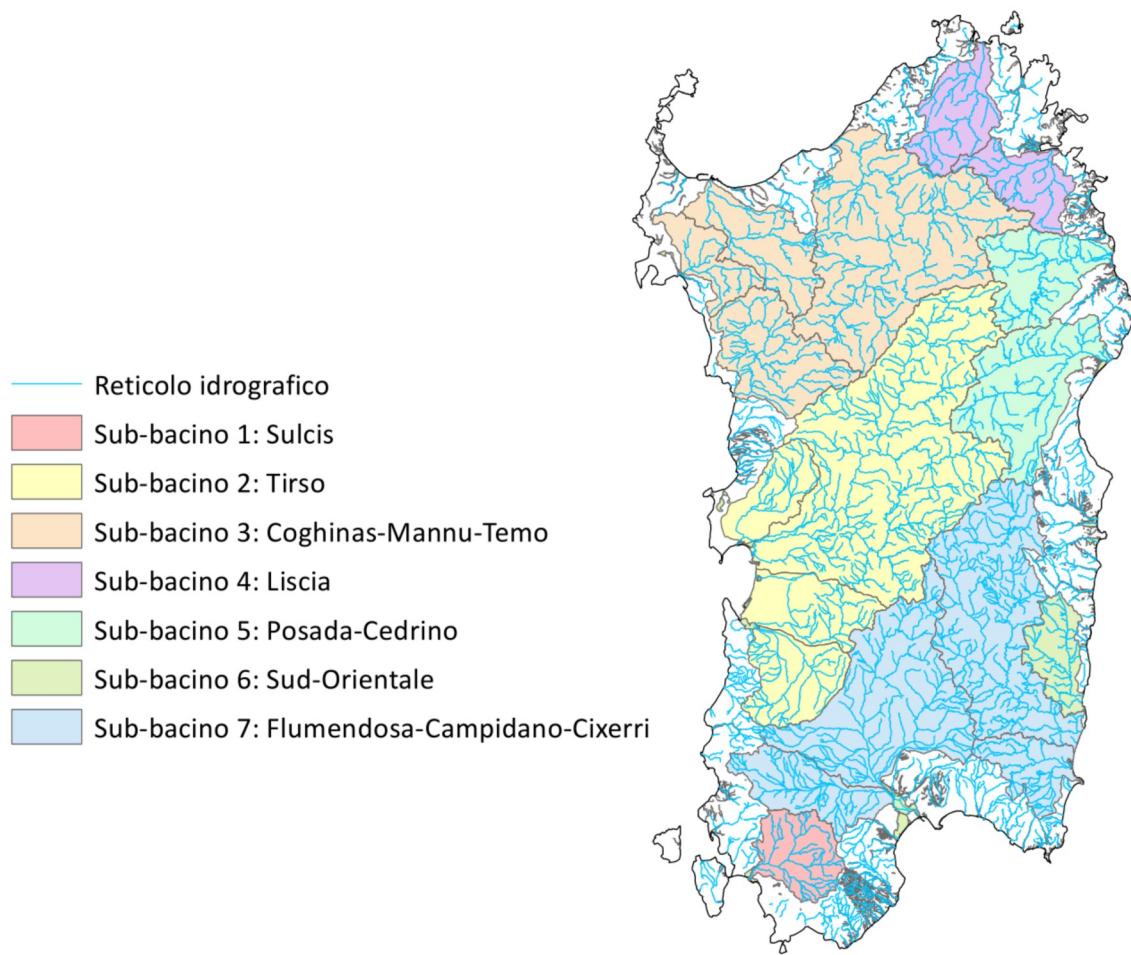


Figure 7: Bassins hydrographiques de la Région Sardaigne

La délimitation des zones d'inondation, pour les deux catégories comme ci-dessus, a été effectuée selon des modalités différentes pour les deux classes dans lesquelles le réseau hydrographique a été divisé. Pour les branches principales, on a identifié des classes différentes de zones inondées, en fonction des débits de crue évaluées par des périodes de retour différents. Les zones ont été délimitées en utilisant tant les résultats des analyses hydrologiques et hydrauliques (évaluation des débits de crue, avec une période de retour croissant et simulation des conditions d'écoulement des mêmes débits) que des analyses géomorphologiques. Pour ce qui est des branches secondaires, on a identifié une zone unique délimitée à la suite d'analyses géomorphologiques, qui représentent la zone potentiellement occupée par l'inondation à l'occasion d'une crue catastrophique ( $T = 500$  années). On a synthétiquement identifié les zones suivantes:

La cooperazione al cuore del Mediterraneo  
La coopération au cœur de la Méditerranée



**Interreg**



UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

- Zone A2, ou zones inondables à la survenance de l'inondation à pointe de crue, correspondant à un période de retour  $T = 2$  années (correspondant à la dangerosité Hi4 du PAI);
- Zone A50, ou zones inondables à la survenance de l'inondation à pointe de crue, correspondant à un période de retour  $T = 50$  années (correspondant à la dangerosité Hi4 du PAI);
- Zone B100, ou zones inondables à la survenance de l'inondation à pointe de crue, correspondant à un période de retour  $T = 100$  années (correspondant à la dangerosité Hi3 du PAI);
- Zone B200, ou zones inondables à la survenance de l'inondation à pointe de crue, correspondant à un période de retour  $T = 200$  années (correspondant à la dangerosité Hi2 du PAI);
- Zone C, ou zones inondables à la survenance de l'inondation à pointe de crue, correspondant à un période de retour  $T = 500$  années ou supérieure (correspondant à la dangerosité Hi1 du PAI), y compris, donc, des événements historiques exceptionnels et, au cas où elles seraient plus étendues, comprenant les zones historiquement inondées et celles identifiées au moyen d'une analyse géomorphologique.

Quant aux modalités de traçage des zones inondées, il faut remarquer que, à l'égard des tronçons remblayés et aux débits qui impliquent leur débordement, les limites des zones fluviales ont été tracés avec référence au niveau du profil hydrique résultant du modèle de calcul, qui a été étendu à toute la plaine inondable au-delà des rives, car on a envisagé l'absence de la fonction de retenue des rives.

Le D.Lgs. 49/2010 a assigné aux Autorités de bassin la tâche de mettre en place, avant 22 juin 2013, les cartes de la dangerosité par inondation et les carte du risque inondation, à l'échelle minimale de 1:10.000, selon les indications contenues dans le même Décret Légal. Comme déjà mentionnée ci-dessus, les cartes de la dangerosité par inondation doivent tenir compte des trois scénario suivants:

- inondations rares d'intensité extrême – période de retour jusqu'à 500 années (probabilité faible);

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

- inondations peu fréquentes – période de retour entre 100 et 200 années (probabilité moyenne);
- inondations fréquentes – période de retour entre 20 e 50 années (probabilité élevée).

Chaque scénario doit être caractérisé par les paramètres hydrauliques suivants:

- extension de l'inondation;
- niveau hydrique;
- caractéristiques de l'écoulement (vitesse et débit).

Afin de répondre de manière appropriée à la Directive inondations, au D.Lgs. 49/2010 et aux prescriptions opérationnelles mises en place par MATTM, les quatre classes de dangerosité définies par les instruments de planification adoptés ou approuvés par la Région Sardaigne (PAI et PSFF), tout comme les périmètres des zones intéressées par l'inondation de 18.11.2013 nommé "Cleopatra", ont été regroupées selon les trois classes indiquées ci-après:

- P3, ou zones à dangerosité élevée, avec probabilité de survenance élevée ( $T \leq 50$ );
- P2, ou zones à dangerosité moyenne, avec probabilité de survenance moyenne ( $100 \leq T \leq 200$ );
- P1, ou zones à dangerosité faible, avec probabilité de survenance faible ( $200 < T \leq 500$ ).

## La dangerosité hydraulique dans le territoire communal

Le territoire communal de Sassari relève du Sous-bassin 3 "Coghinas – Mannu – Temo" (Figure 7), qui s'étend sur 5402 km<sup>2</sup>, égal à 23% du territoire régional; il y a neuf ouvrages de régularisation en service et cinq transvasements. Du point de vue hydrographique, les cours d'eau principaux sont les suivants:

- Le Rio Mannu de Porto Torres, dans lequel s'écoule, dans la zone de montagne, le Rio Bidighinzu avec le Rio Funtana Ide (aussi connu comme « Rio Binza 'e Sea »);
- Le Rio Minore, qui se jette dans le Mannu à la rive gauche;
- Le Rio Carrabusu, affluent à la gauche hydrographique;
- Le Rio Mascari, affluent du Mannu de Portotorres à la rive droite;
- Le fleuve Temo (réglé par le barrage-réservoir de Monteleone Roccadoria), qui reçoit les affluents des Rio Santa Lughia, Rio Badu 'e Ludu, Rio Mulino et Rio Melas sur la rive gauche dans la zone de montagne du bassin. Les derniers kilomètres sont marqués par le réseau hydrographique entourant le centre urbain, dont le ruisseau principal est représenté par le Rio Sa Sea;







Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

inondations. Ils sont situés à droite, proche de la berge du téléphérique et, à gauche, immédiatement en amont de la traversée ferroviaire.

#### Riu Ottava

A propos du Riu Ottava, proche de Sassari, on doit remarquer que l'aire de la pépinière forestière et les relatifs bâtiments de service ont été inclus à l'intérieur des champs d'inondation de ce cours d'eau. Egalement à risque, de plus, est une série de bâtiments à usage d'habitation, essentiellement des villas qui ont déjà subi des inondations par le passé, situées en localité Strada Vicinale San Quirico. En outre, on signale que la section terminale de la canalisation présente à la confluence dans le Mannu de Porto Torres est fortement érodée par des phénomènes de regression qui, à long terme, pourraient atteindre les deux ponts peu distants en amont, en posant un risque pour leur stabilité.

Quant au réseau secondaire, la criticité principale est liée au Rio Sant'Orsola, en correspondance du passage de Sassari où, afin de permettre l'urbanisation des zones limitrophes, on a effectué au même temps le remblayage du lit du ru, en augmentant le risque d'inondation des zones au fond de la vallée alluviale.

La Figure 10 montre les zones à dangerosité hydraulique conformément au Rapport ISPRA 2017 (Trigila et al., 2018). On peut remarquer comme l'expansion des zones à risque d'inondation pour les périodes de retour de référence intéresse également les zones bâties de la Commune, en particulier pour ce qui concerne le Riu Sant'Orsola et le Riu Ottava.

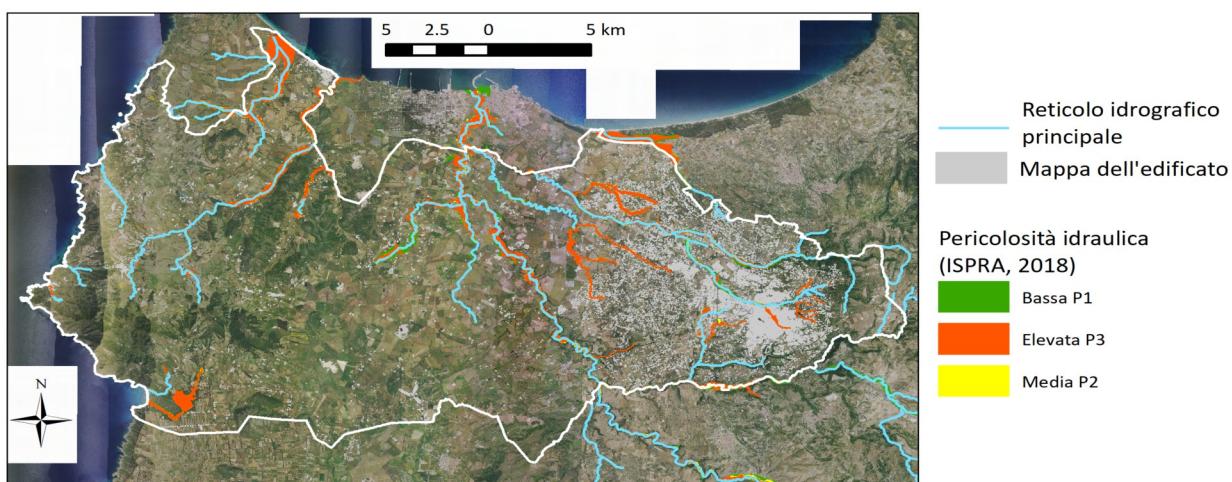


Figure 10: Carte de la dangerosité hydraulique de la Commune de Sassari (Trigila et al., 2018)



**Interreg**



UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Le périmètre des zones à dangerosité hydraulique en Figure 10 est le résultat de l'enveloppe des périmètres du PSFF, du PAI et de l'Etude de Compatibilité Hydraulique rédigée par la Commune de Sassari pour l'ajustement du PUC au PAI, en conformité avec l'art. 8, paragraphe 2, des NTA du PAI, approuvé par Dél. C. I. n.4 de 12/12/2012. Par rapport au PSFF, le PAI et l'étude art. 8, paragraphe 2, étendent la modélisation hydraulique à des différents branches du réseau hydrographique mineur, en complétant le périmètre sur le territoire communal entier.

Ci-après on indique les criticités résultant en occasion d'événements météoriques extrêmes survenus durant la dernière décennie, comme signalé par les Autorités Municipales. Ces événements n'ont pas été mentionnées dans le dernier Rapport ISPRA (Trigila et al., 2018), et encore moins dans les Rapports Polaris relatifs aux dernières années (CNR – IRPI, 2015-2018), car ils n'ont pas causé des dommages en termes de victimes et/ou personnes déplacées. Néanmoins, comme largement décrit par les média locaux et nationaux, ces événements ont entraîné des désagréments considérables à la voirie, aux activités sociales et productives et à la sécurité. Les Autorités Communales ont indiqué la présence des zones suivantes, spécifiquement en milieu urbain, à risque d'inondation à cause d'événements météoriques d'importance mineure:

1. Rio d'Ottava (habitations bordant le fleuve);
2. Rio Calamasciu, zone Predda Niedda (arrière du magasin Eurospin): inondations des rues et de l'esplanade du centre commercial;
3. Viale Italia à proximité de l'intersection avec Via Amendola;
4. Via Budapest (voie d'entrée à la Commune);
5. Viaduc Don Sturzo;
6. Via A. Deffenu, à proximité de l'intersection avec Via E. De Nicola;
7. Rond-point "Bricoman" Route Nationale 131 direction Sassari – Porto Torres;
8. Via Prati;
9. Via Gorizia/Viale Trento/Via Mannu;
10. Via Predda Niedda à proximité du centre commercial Tanit;
11. Via XXV Aprile, à proximité de l'intersection avec Piazza Santa Maria;
12. Via Miniera Vecchia et zones limitrophes (hameau Argentiera).



# Interreg



UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

La totalité de ces criticités se réfère à la fréquence des accidents de la route survenus par temps de pluie, même en cas de précipitations pas trop violentes. Au point 12, en outre, on signale des évènements fréquents d'instabilité de ce côté. La Figure 11 et la Figure 13 montrent que la quasi-totalité des criticité signalées se réfère au centre urbain de Sassari, dans des zones ayant une pente peu prononcée surplombant les cours d'eau, en particulier le Riu Ottava et le Riu Sant'Orsola. Egalelement, il faut remarquer la présence de quelques criticités, comme celles localisées près de Borgata Argentiera et de la zone de Predda Niedda, surplombant les périmètres relatifs à la dangerosité hydraulique.

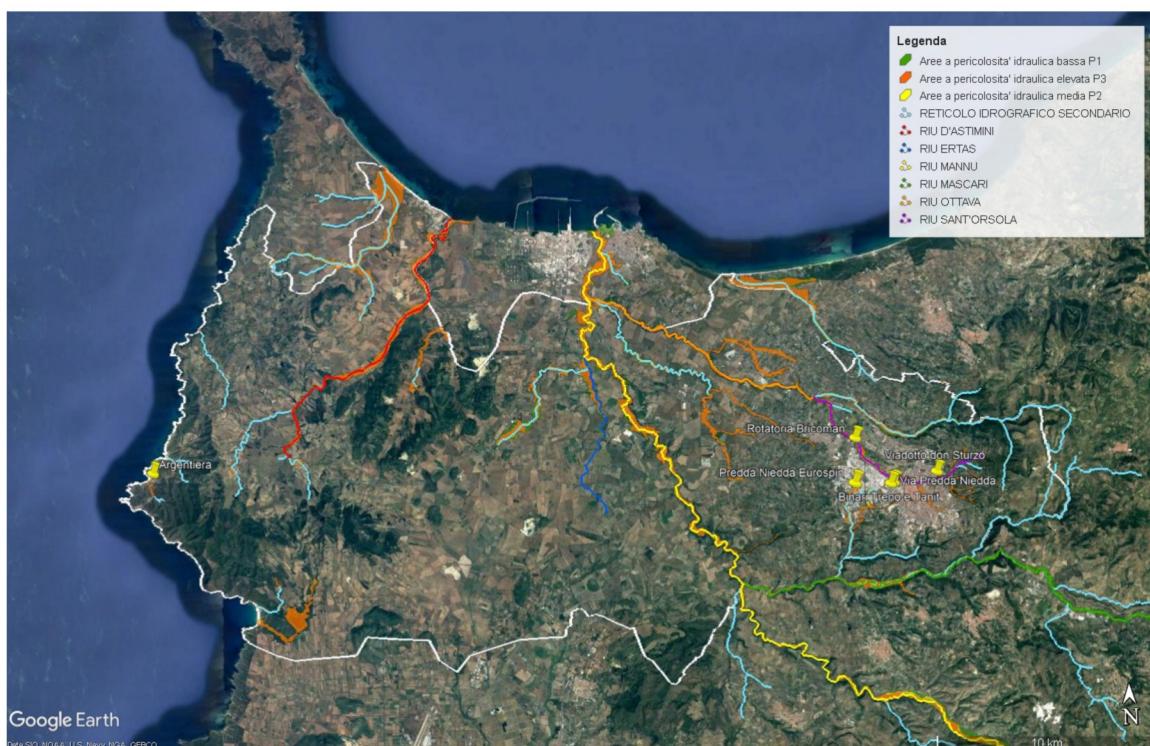


Figure 11: Localisation des principaux évènements d'inondation urbaine



# Interreg



UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Figure 12: Localisation des principaux évènements d'inondation: centre urbain



Figure 13: Localisation des principaux évènements d'inondation: borgata Argentiera

La cooperazione al cuore del Mediterraneo  
La coopération au cœur de la Méditerranée



**Interreg**



UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Ci-après on indique les événements météorologiques qui, au cours des années, ont causé des graves dommages à la voirie, aux activités sociales et productives et à la sécurité.

#### Evènement du 26 Novembre 2015

Le violent orage et les inondations conséquentes ont causé l'effondrement du mur de clôture à l'arrière du magasin Conforama (Figure 14), ainsi que des effet dramatiques sur la circulation urbaine (Figure 15).



Figure 14: Conséquences de l'évènement du 26 novembre 2015: effondrement du mur à l'arrière du magasin Conforama (<https://bit.ly/2FfxwAh>)



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Figure 15: Conséquences de l'évènement du 26 novembre 2015 sur la circulation urbaine  
(<https://bit.ly/2T5AavI>)

#### Evènement du 6 Novembre 2016

A cette occasion, une quantité d'eau impressionante, accompagné par une tornade, s'est si è abattue dans quelques heures sur le nord-ouest de la Sardaigne, avec des dommages généraux étendus à l'ensemble de l'île.

Les pluies torrentielles ont frappé le petit hameau de l'Argentiera avec une masse d'eau qui s'est canalisée dans les routes qui descendent vers la mer, balayant tout sur son passage, poteaux abattus et arbres déracinés, murs effondrés, toits des maisons arrachés, rues et caves inondées (Figure 16).



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Figure 16: Conséquences de l'évènement du 6 novembre 2016 (<https://bit.ly/2PIJltk>)

#### Evènement du 15 Décembre 2017

La forte pluie du matin a provoqué la crue du Rio Calamasciu au niveau de la zone commerciale d'Eurospin et de Maury's, entre les routes 11 et 12 de Predda Niedda. Le grand parking a été complètement envahi par l'eau et il a été nécessaire de fermer tous les magasins et les entreprises donnant sur la place (une quinzaine) (Figure 17). A Sassari la ligne ferroviaire Sassari-Chilivani a été bloquée à cause de l'inondation des rails dans la zone de Scala di Giocca (Figure 18). Une jeune fille blessée par l'écroulement d'une corniche dans Corso Angioy, sept personnes coincées dans les voitures submergées par l'eau dans un parking et sauvées par les sapeurs-pompiers, des campagnes et des sous-sols ruraux inondés, des routes bloqués et dizaines d'interventions de secours par les pompiers et par la police municipale représentent le bilan de cette situation difficile causée par la tempête. De plus, le Rio Sant'Orsola a débordé à certains endroits, en menaçant quelques habitations.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Figure 17: Conséquences de l'évènement du 15 décembre 2017 (<https://bit.ly/2QAtVhj>)

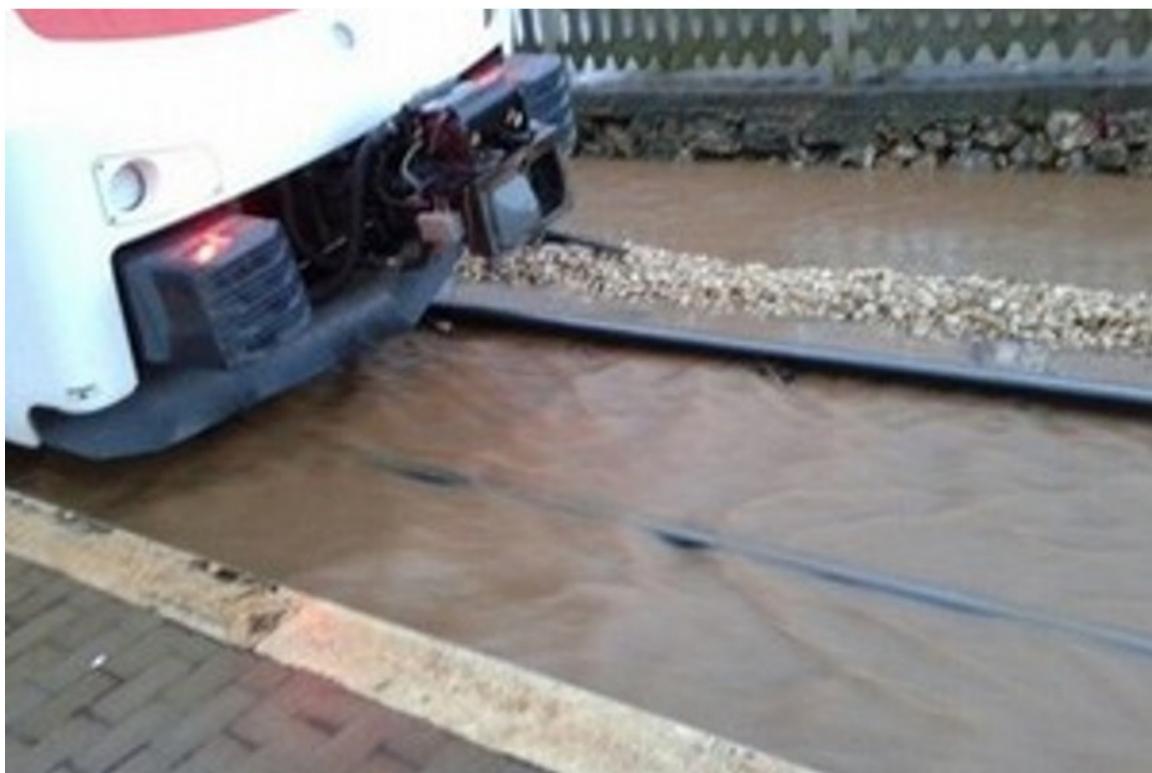


Figure 18: Conséquences de l'évènement du 15 décembre 2017 (<https://bit.ly/2DAc8Eb>)



**Interreg**



UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

#### Évènement du 3 mai 2018

A cette occasion, la pluie incessante a inondé les rues de la ville, surtout là où elles sont cahoteuses et pleines de trous, en créant des véritables bassins. Des gouffres considérables ont été signalés, en particulier, sur le roind-point de Zona Predda Niedda (Fig. 19).



Figure 19: Conséquences de l'évènement du 3 mai 2018 (<https://bit.ly/2z4LDmg>)

#### Évènement du 21 mai 2018

A l'occasion de cet évènement météorologique, on a enregistré des dommages dans l'église de Santa Maria di Betlem, pour laquelle on avait déjà demandé, depuis longtemps, des mesures d'entretien extraordinaire. L'eau entrée par le plafond a inondé des pièces et a mouillé des mobiliers. La procession des Martyrs, prévue pour la journée, a été annulée à cause de la pluie torrentielle; à Predda Niedda, pendant quelques minutes, le chemin de fer a même disparu dans la crue du Rio Calamsciu, qui s'écoule le long de la ligne Sassari-Porto Torres. L'eau a inondé aussi quelques hangars de la zone industrielle (Figure 20).



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Figure 20: Conséquences de l'évènement du 21 mai 2018 (<https://bit.ly/2T7tehe>)

## L'exposition dans le territoire communal

Les référentiels normatifs et de planification principaux visant aux éléments vulnérables à l'échelle municipale sont:

- Les "Lignes directrices pour la planification communale et intercommunale de protection civile" dont la Dél.G.R. n. 20/10 du 12.04.2016, qui incluent l'identification ponctuelle des éléments vulnérables, c'est-à-dire compris dans des zones à dangerosité hydraulique;
- Les NTA du PAI, mises à jour à 2018, dont le texte coordonné a été approuvé par Décret du Président de la Région n.35 du 27/04/2018, qui comprennent, au moment de la rédaction des études de compatibilité hydraulique pour l'adaptation du PUC au PAI, l'identification et classification des éléments vulnérables en fonction de leur valeur aux fins de la cartographie des dommages potentiels et du conséquent risque hydraulique.

La Commune de Sassari s'est dotée, en décembre 2011, d'un Plan de Protection Civile, élaboré conformément au O.P.C.M. 27 octobre 2007 n.3624/07, en cours de mise à jour selon les nouvelles lignes directrices. En 2012, la Commune a également élaboré, conformément à l'art. 8, paragraphe 2 des NTA du PAI, l'étude de compatibilité hydraulique et géologique-géotechnique du territoire communal pour l'adaptation de son Plan d'Urbanisme Communal au PAI, approuvé par Délibération du Comité Institutionnel de l'Autorité de Bassin Régionale n.4 du



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

12/12/2012. L'étude identifie les zones à dangerosité hydraulique du territoire communal, mais pas les éléments vulnérables.

Dans ce rapport, donc, à défaut d'études détaillées spécifiques à l'échelle communale, aux fins de la détermination des éléments caractérisant l'exposition, on a utilisé le périmètre et la classification des éléments vulnérables, effectuée, pour le territoire régional entier, au sein du Plan de Gestion du Risque Inondations (PGRI) aux fins de la cartographie des dommages potentiels et du conséquent risque inondation.

Le PGRI identifie, en cohérence avec ce qui est indiqué dans le D.P.C.M. 29.09.98 et le D.Lgs. suivant 49/2010, six macro-catégories d'éléments vulnérables:

- Zones urbanisées (agglomérations urbaines, noyaux habités avec édification étendue et dispersée, zones de développement, zones commerciales et productives);
- Structures Stratégiques (hôpitaux et centres de soin publics et privés, centres d'activité collectives civiles, sièges de centres civiques, centres d'activités collectives militaires);
- Infrastructures stratégiques et principales (lignes électriques, méthanoloducs, oléoducs, gazoducs et aqueducs, voies de communication d'importance stratégique, tant carrossables que ferrées, ports et aéroports, barrages hydroélectriques, grands barrages);
- Biens environnementaux, historiques et culturels présentant un intérêt significatif (zones naturelles, régions boisées, zones protégées et de conservation, zones soumises aux obligations de respect des paysages et de l'environnement, zones d'intérêt historiques et culturels, zones archéologiques);
- Zones intéressées par des installations productives ou technologiques, potentiellement dangereuses du point de vue environnemental (régions minières, décharges, stations d'épuration, incinérateurs);
- Zones agricoles, zones humides, masses d'eau (zones destinées à usage agricole ou caractérisées par des éléments naturels).

Dans le PGRI, chacun élément vulnérable appartenant aux catégories ci-dessus reçoit une classe, variable de 1 à 4, à mesure que la valeur de l'élément vulnérable augmente.

Pour cette étude, les éléments vulnérables du PGRI ont été extrapolés pour le territoire communal de Sassari et représentés en Figure 21 et Figure 22 en fonction de la macro-catégorie d'appartenance et de la classe d'exposition.



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

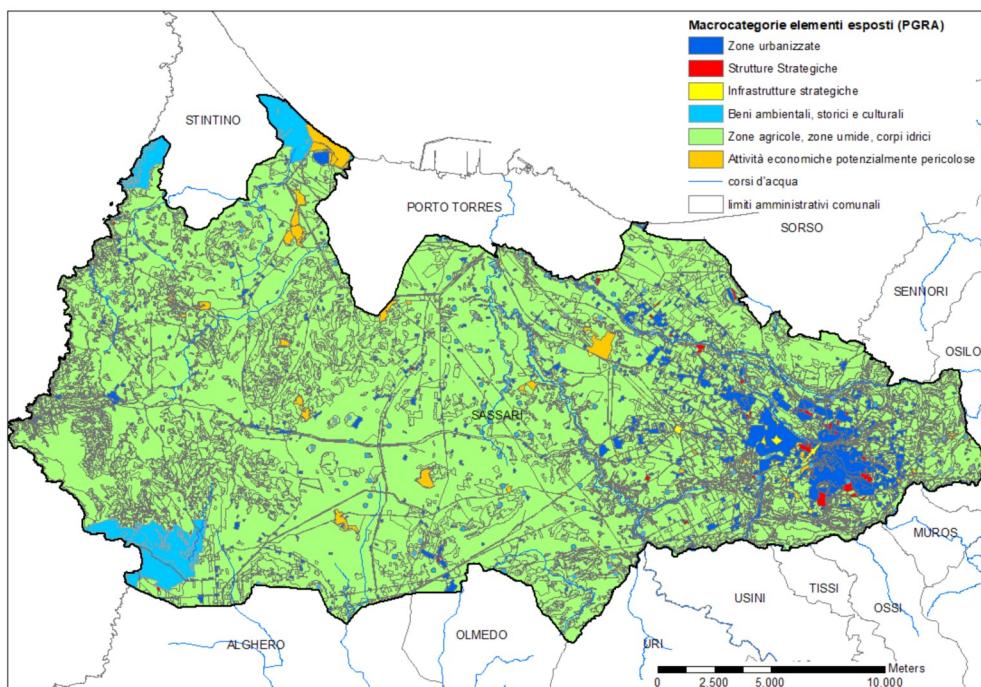


Figure 21: Carte des éléments vulnérables par macro-catégorie (source : PGRI – Carte du dommage potentiel)

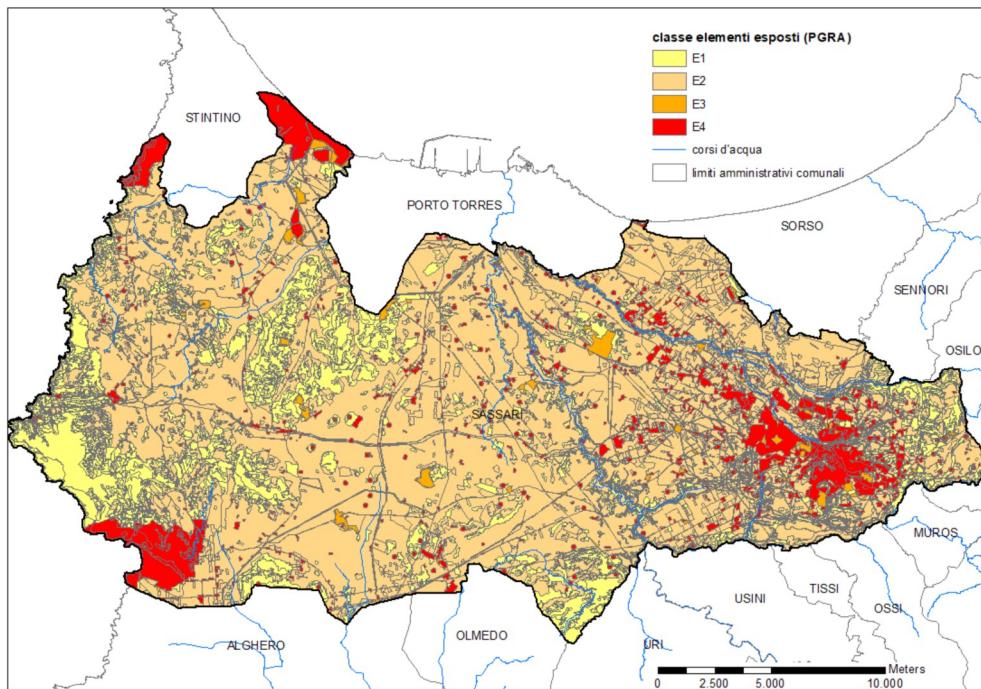


Figure 22: Carte des éléments vulnérables par classe d'élément (source : PGRI – Carte du dommage potentiel)

En outre, l'extension superficielle de ces éléments étant connue, on a calculé leur incidence en pourcentage par rapport à la superficie totale communale. Les données sont indiquées au Tableau 3 et Tableau 4:

**Tableau 3. Extension superficielle en m<sup>2</sup> des éléments vulnérables par macro-catégorie (source: PGRI – Carte du dommage potentiel)**

Éléments vulnérables	E1	E2	E3	E4	Total
Activité économiques potentiellement dangereuses	1.947	4.613.159	1.616.078	6.231.184	
Biens environnementaux, historiques e culturels			17.451.607	17.451.607	
Infrastructures stratégiques	1.637.565	5.358.972	1.287.708	8.284.245	
Structures Stratégiques		1.522.444	191.905	1.714.349	
Zones agricoles, zones humides, masses d'eau	115.563.738	368.942.423		163.516	484.669.677
Zones urbanisées		161.131		28.871.797	29.032.928
<b>Total</b>	<b>115.563.738</b>	<b>370.743.066</b>	<b>11.494.576</b>	<b>49.582.611</b>	<b>547.383.991</b>

**Tableau 4. Incidence en pourcentage des éléments vulnérables par macro-catégorie par rapport à la superficie communale (source PGRI – Carte du dommage potentiel)**

Éléments vulnérables	E1	E2	E3	E4	Total
Activités économiques potentiellement dangereuses	0,00	0,00	0,84	0,30	1,14
Biens environnementaux, historiques e culturels	0,00	0,00	0,00	3,19	3,19
Infrastructures stratégiques	0,00	0,30	0,98	0,24	1,51
Structures Stratégiques	0,00	0,00	0,28	0,04	0,31
Zones agricoles, zones humides, masses d'eau	21,11	67,40	0,00	0,03	88,54
Zones urbanisées	0,00	0,03	0,00	5,27	5,30
<b>Total</b>	<b>21,11</b>	<b>67,73</b>	<b>2,10</b>	<b>9,06</b>	<b>100,00</b>

Les éléments ainsi identifiés ne sont, toutefois, que potentiellement vulnérables. Pour en identifier l'effective exposition, du moins avec référence à l'heure actuelle, ce thème a été intégré aux cartes de la dangerosité par inondation du PGRI, en identifiant les seuls éléments effectivement compris dans ces zones.

Le PGRI identifie et délimite, pour le territoire régional entier, les zones à dangerosité par inondation résultant de l'enveloppe des zones de dangerosité identifiées dans le PAI, le PSFF,



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

les études détaillées élaborées conformément à l'art. 8, paragraphe 2 des NTA du PAI, et des zones intéressées par l'inondation nommée "Cleopatra" du 18 novembre 2013. Dans le PGRI, les quatres classes de dangerosité utilisées dans les outils de planification originaires ont été regroupées selon les trois classes identifiées par le D.Lgs. 49/2010, indiquées ci-après:

- P3, à savoir zones à dangerosité élevée, ayant une probabilité de survenance élevée ( $Tr \leq 50$ );
- P2, à savoir zones à dangerosité moyenne, ayant une probabilité de survenance moyenne ( $100 \leq Tr \leq 200$ );
- P1, à savoir zones à dangerosité faible), ayant une faible probabilité de survenance ( $200 < Tr \leq 500$ ).

La cartographie des zones à dangerosité hydraulique de la Commune de Sassari est représentée en Figure 10. Au Tableau 5 on indique l'extension et l'incidence en pourcentage des zones à dangerosité par inondation, par rapport à la superficie communale de Sassari; au Tableau 6 et Tableau 7 on indique les données de la superficie des éléments vulnérables compris dans les différentes zones à dangerosité par inondation et les données de l'incidence en pourcentage par rapport à leur superficie totale.

Tableau 5. Incidence en pourcentage des zones à dangerosité par inondation par rapport à la superficie communale (source : PGRI – Carte de la dangerosité par inondation)

Classe Dangerosité	Superficie zones dangereuses (m <sup>2</sup> )	% sup. zones dangereuses/sup. communale
P1	3.167.870	0,58
P2	1.383.052	0,25
P3	23.716.895	4,33
<b>Total</b>	<b>28.267.818</b>	<b>5,16</b>



**Interreg**



UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

**Tableau 6. Superficie (m<sup>2</sup>) degli éléments vulnérables ricadenti nelle aree a dangerosité par inondation  
(source PGRI – Mappa della dangerosité par inondation)**

Éléments vulnérables	Classe Dangerosité			
	P1	P2	P3	Total
<b>E1</b>	<b>372.716</b>	<b>193.945</b>	<b>2.329.846</b>	<b>2.896.507</b>
Régions boisées et prairies	371.656	193.592	2.306.109	2.871.357
Masses d'eau			17.155	17.155
Superficies à végétation clairsemée	865	138	1.011	2.014
Zones humides	195	215	5.571	5.982
<b>E2</b>	<b>2.443.724</b>	<b>1.017.811</b>	<b>17.265.428</b>	<b>20.726.963</b>
Réseaux de communication et transport secondaires	18.494	3.372	30.493	52.359
Terres agricoles arables	1.819.941	875.754	15.026.309	17.722.004
Zones agricoles permanentes et hétérogènes	605.289	138.684	2.208.626	2.952.599
<b>E3</b>	<b>39.972</b>	<b>18.458</b>	<b>227.759</b>	<b>286.189</b>
Régions minières		7	36	43
Zones sportives et de loisirs	3.939	814	12.199	16.952
Chantiers	586	438	17.213	18.237
Égouts et systèmes/stations d'épuration			2.121	2.121
Réseaux de communication et transport primaires	5.874	6.918	45.579	58.371
Réseaux technologiques et de services, structures technologiques à l'appui des réseaux	29.573	10.281	150.611	190.464
<b>E4</b>	<b>311.458</b>	<b>152.839</b>	<b>3.893.862</b>	<b>4.358.159</b>
Zones d'intérêt historique,culturel et archéologique	26.082	9.465	331.997	367.544
Zones protégées	92.367	68.852	2.925.175	3.086.394
Bâtiments publics, même hors des zones résidentielles	23	332	290	645
Réseaux de communication et transport stratégiques	3.672	1.910	26.332	31.913
Hôpitaux, structures sanitaires et infrastructures d'éducation et de formation	1	4	15	20
Zones industrielles et commerciales	53.647	33.414	215.749	302.810
Zones résidentielles	135.665	38.863	394.304	568.833
<b>Total</b>	<b>3.167.870</b>	<b>1.383.052</b>	<b>23.716.895</b>	<b>28.267.818</b>



**Interreg**



UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

**Tableau 7. Incidence en pourcentage de la superficie des éléments vulnérables compris dans les différentes zones à dangerosité par inondation par rapport à leur superficie totale (source : PGRI – Carte de la dangerosité par inondation)**

Éléments vulnérables	Classe Dangerosité			
	P1	P2	P3	Total
<b>E1</b>	<b>0,32</b>	<b>0,17</b>	<b>2,02</b>	<b>2,51</b>
Régions boisées et prairies	0,33	0,17	2,06	2,56
Masses d'eau	0,00	0,00	3,55	3,55
Superficies à végétation clairsemée	0,03	0,00	0,03	0,07
Zones humides	0,32	0,36	9,27	9,96
<b>E2</b>	<b>0,66</b>	<b>0,27</b>	<b>4,66</b>	<b>5,59</b>
Réseaux de communication et transport secondaires	1,13	0,21	1,86	3,20
Terres agricoles arables	0,61	0,30	5,06	5,97
Zones agricoles permanents et hétérogènes	0,84	0,19	3,06	4,09
<b>E3</b>	<b>0,35</b>	<b>0,16</b>	<b>1,98</b>	<b>2,49</b>
Régions minières	0,00	0,00	0,00	0,00
Zones sportives et de loisirs	0,29	0,06	0,89	1,23
Chantiers	0,03	0,02	0,98	1,04
Égouts et systèmes/stations d'épuration	0,00	0,00	11,90	11,90
Réseaux de communication et transport primaires	0,34	0,40	2,65	3,39
Réseaux technologiques et de services, structures technologiques à l'appui des réseaux	0,82	0,28	4,16	5,26
<b>E4</b>	<b>0,63</b>	<b>0,31</b>	<b>7,85</b>	<b>8,79</b>
Zones d'intérêt historique,culturel et archéologique	0,78	0,28	9,92	10,98
Zones protégées	0,65	0,49	20,74	21,88
Bâtiments publics, même hors des zones résidentielles	0,08	1,11	0,97	2,16
Réseaux de communication et transport stratégiques	0,32	0,17	2,30	2,78
Hôpitaux, structures sanitaires et infrastructures d'éducation et de formation	0,00	0,00	0,01	0,01
Zones industrielles et commerciales	0,84	0,52	3,38	4,74
Zones résidentielles	0,60	0,17	1,75	2,53
<b>Total</b>	<b>0,58</b>	<b>0,25</b>	<b>4,33</b>	<b>5,16</b>

Parmi les éléments vulnérables mentionnés ci-dessus, deux infrastructures de formation sont comprises marginalement dans une zone à faible dangerosité par inondation (P1).

Il faut remarquer que, plutôt que les éléments vulnérables individuels, il est important de quantifier la population potentiellement exposée aux crues et aux inondations.

En utilisant les données du 15<sup>ème</sup> Recensement de la population et des habitations, effectué par Istat en 2011, référencées aux sections de recensement individuelles de la Commune, on a défini,



# Interreg



UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

pour chaque section de recensement et pour la Commune entière, la population résidente exprimée tant en valeur absolue que comme densité de population et également en pourcentage par rapport à la population totale. En outre, on a identifié les couches vulnérables de la population (personnes âgées et enfants) qui, en cas d'inondation, ont plus de difficulté à faire face à l'urgence et, donc, peuvent subir les pires effets de ces événements. On a donc calculé, encore pour chaque section de recensement et pour la Commune entière, l'incidence du nombre des personnes âgées (résidents âgées de 65 ans et plus) et des enfants (résidents âgées de 5 ans et moins) exprimé en pourcentage sur le total de la population résidente. Le résultat au niveau de la Commune est indiqué au Tableau 8, tandis que les données par section de recensement individuelle sont indiquées à la Figure 23, Figure 24 et Figure 25.

Tableau 8. Données sur la population résidente et sur les couches faibles (personnes âgées et enfants) de la Commune de Sassari (source: 15<sup>ème</sup> Recensement de la population et des habitations par Istat, 2011)

Sup. communale	Pop. Résidente	Densité de pop.	Pop. Résid. < 5 ans	Pop. Résid. > 65 ans
km <sup>2</sup>	n° ab	n° ab/km <sup>2</sup>	n° ab	%
547,04	123.782	22.628	4.956	4,0
			24.325	19,7

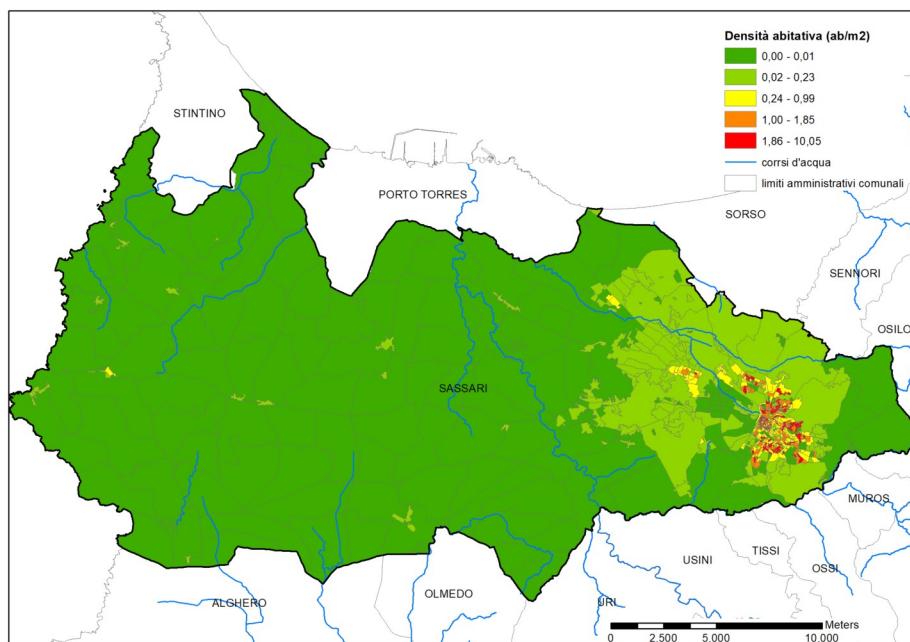


Figure 23: Carte de la densité de population dans les différentes sections de recensement (source: 15<sup>ème</sup> Recensement de la population et des habitations par Istat, 2011)



# Interreg



UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

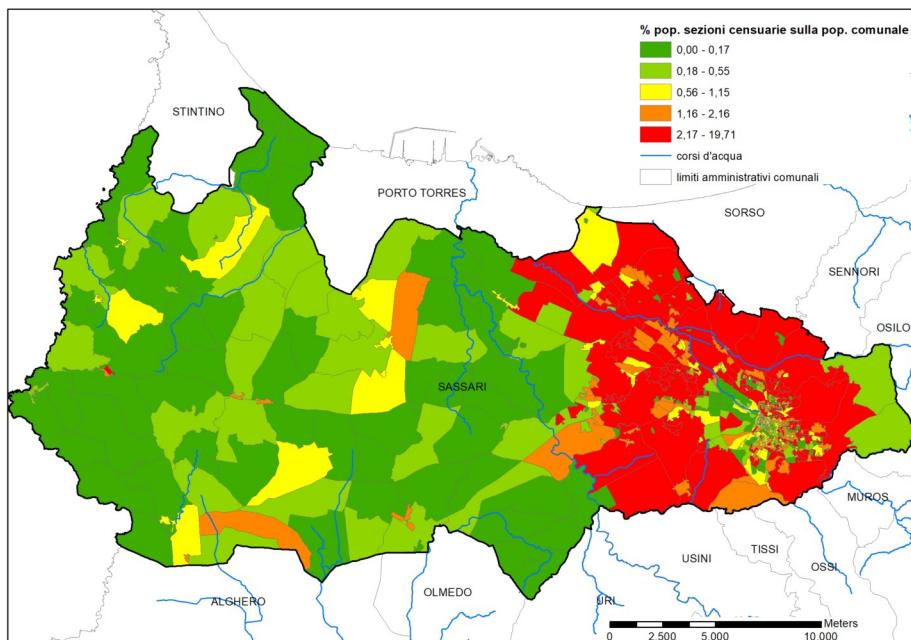
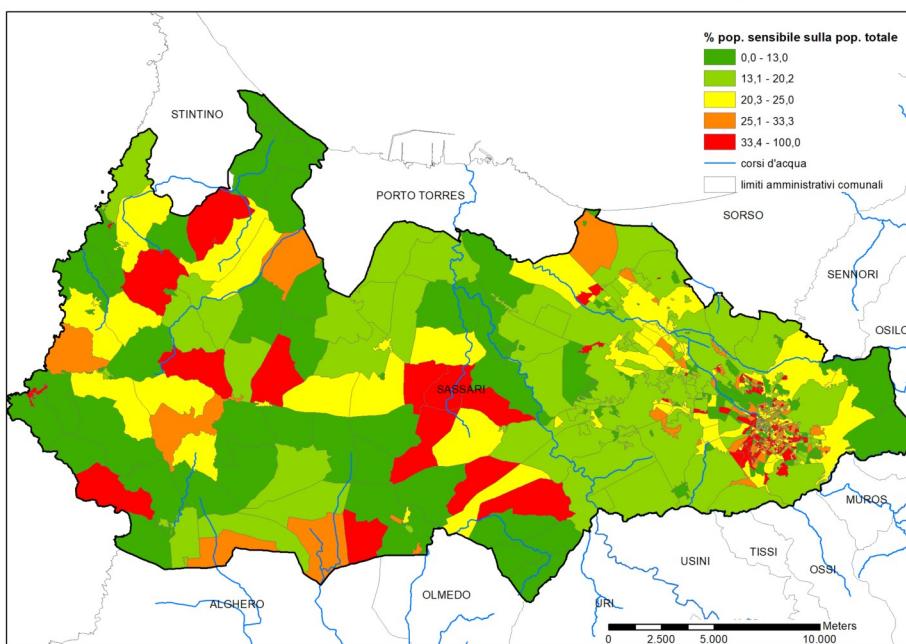


Figure 24: Carte du pourcentage de population résidente dans les différentes sections de recensement par rapport au total de la population communale (source: 15<sup>ème</sup> Recensement de la population et des habitations



par Istat, 2011)

Figure 25. Carte de l'incidence en pourcentage de la population sensible par rapport au total de la population résidente dans les différentes sections (source: 15<sup>ème</sup> Recensement de la population et des habitations par Istat, 2011)



**Interreg**



UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Le PGRI, conformément avec la lettre a) de l'art. 6 paragraphe 5 du D.Lgs. 49/2010, estime le nombre des habitants potentiellement intéressés par les inondations, en intégrant les informations des sections de recensement avec celles relatives aux zones inondables, selon les trois scénarios de dangerosité. Le Tableau 9 montre des données pour les différentes classes de dangerosité.

**Tableau 9. Nombre d'habitants potentiellement intéressés par les inondations (source : PGRI – Carte de la dangerosité par inondation)**

Classe Dangerosité	Habitants
P1	804
P2	210
P3	2.980
<b>Total</b>	<b>3.994</b>

Dans la Commune de Sassari on a aussi deux canaux remblayés, un sur le Rio San Giovanni et un sur le Rio Calamasciu (Figure 26 et Figure 27).

Cette donnée a été extrapolée du répertoire des canaux remblayés inclus dans le PGRI, qui montre les résultats, actualisés pour l'année 2017, de l'activité exercée par la Direction Générale de l'Agence du District Hydrographique, sur mandat du Comité Institutionnel de l'Autorité de Bassin régionale (dont la Délibération n.4 del 29 Juillet 2014), avec un rassemblement de données préliminaires, sur demande aux Communes, de données et informations sur la présence et la localisation des tronçons remblayés de corridors fluviaux. Le recensement a pour but d'identifier les criticités hydrauliques potentielles conséquent à la présence des canaux remblayés, avec une attention particulière aux zones sensibles représentées par les centres urbains, dans l'intention de mettre en œuvre les mesures de prévention et réduction du risque hydraulique. Il faut souligner que, par rapport à l'objet de cette étude, en choisissant l'approche la plus prudentielle, on a décidé de considérer la présence éventuelle de canaux remblayés en tant qu'élément de criticité du territoire, bien qu'aucune information n'ait été rapportée à l'égard de la sécurité de ces canaux, à savoir on ne sait pas s'ils ont passé les vérifications de sécurité prévues à l'art. 22 des NTA du PAI.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

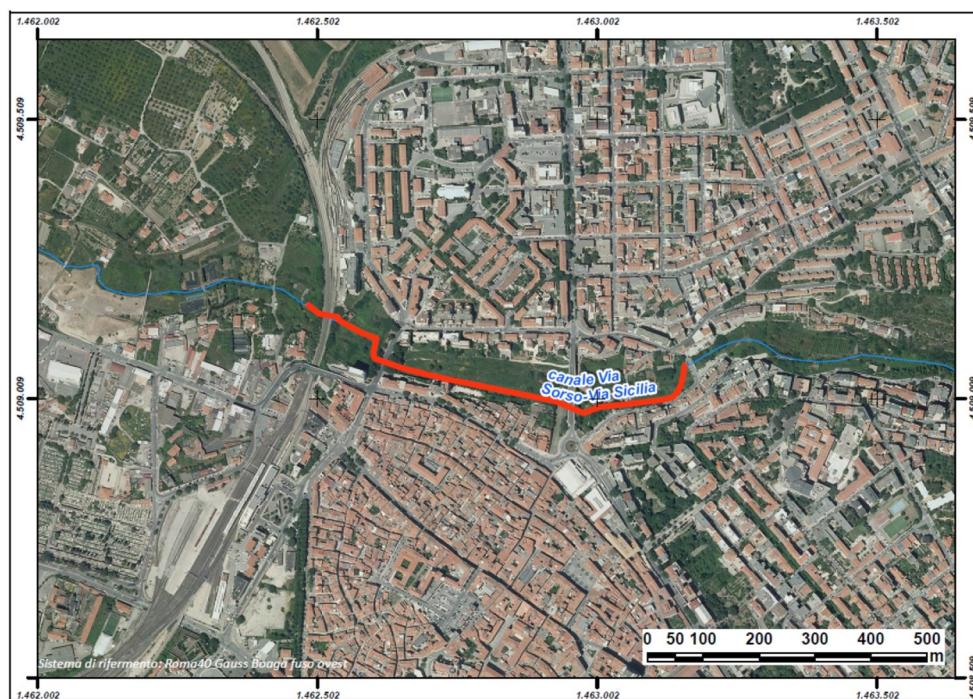


Figure 26: Image du canal remblayé sur le Rio San Giovanni, nommé « Via Sorso-Via Sicilia » (source : PGRI – Répertoire canaux remblayés, ID ADIS SS\_I452\_001)

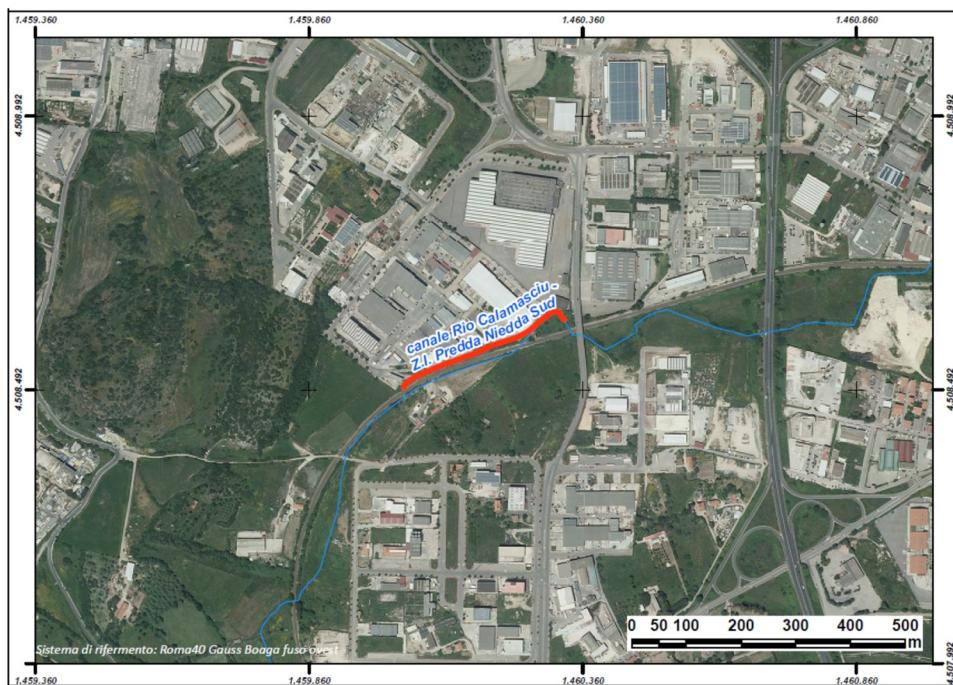


Figure 27: Image du canal remblayé sur le Rio Calamasciu nommé « Rio Calamasciu » - Z.I. Predda Niedda Sud (source : PGRI – Répertoire canaux remblayés, ID ADIS SS\_I452\_002)



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

La Figure 28 et la Figure 29 montrent, pour le seul centre urbain, la superposition des zones dangereuses et des tronçons des cours d'eau remblayés avec les éléments vulnérables, tant en ce qui concerne la macrocatégorie que la classe à laquelle ils appartiennent.

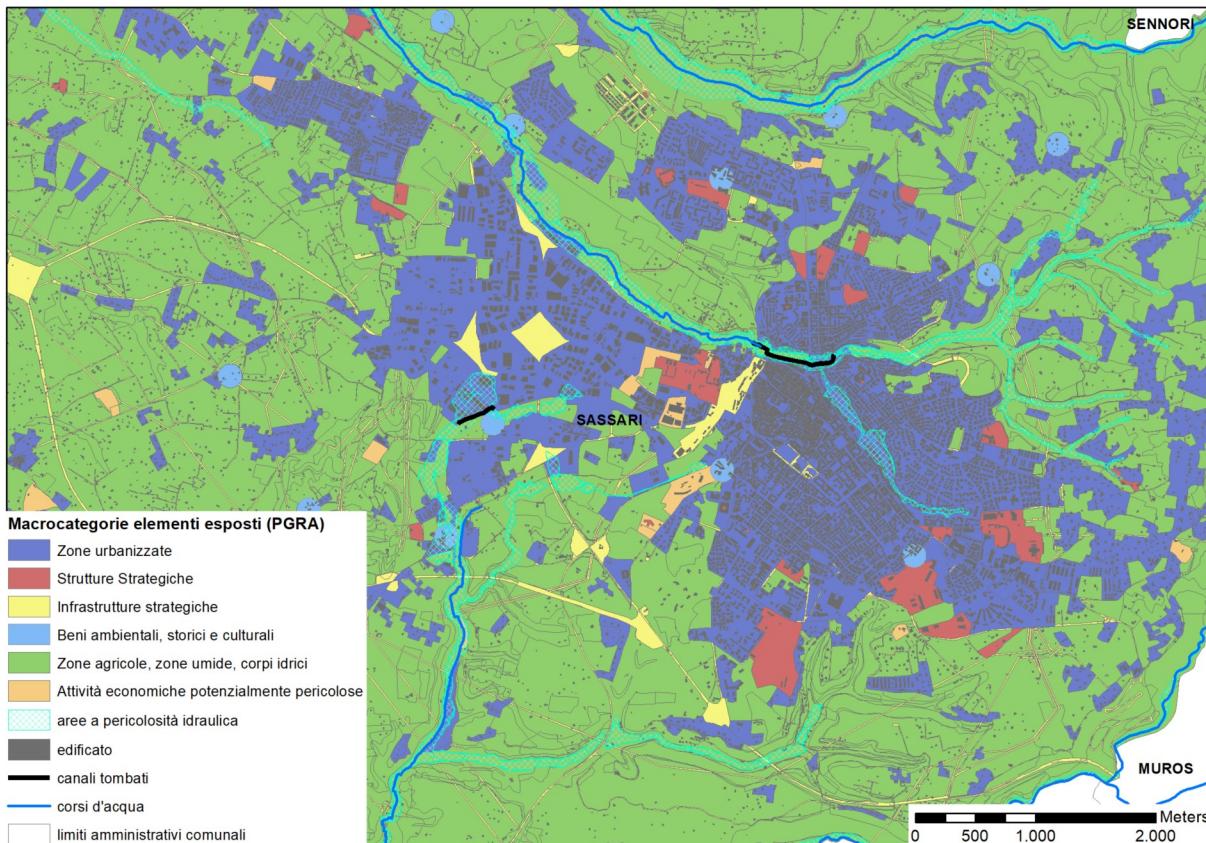


Figure 28: Carte de la superposition des zones à dangerosité hydraulique et des tronçons remblayés avec les éléments vulnérables représentés par macrocatégories dans le centre urbain de Sassari (source: PGRI)



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

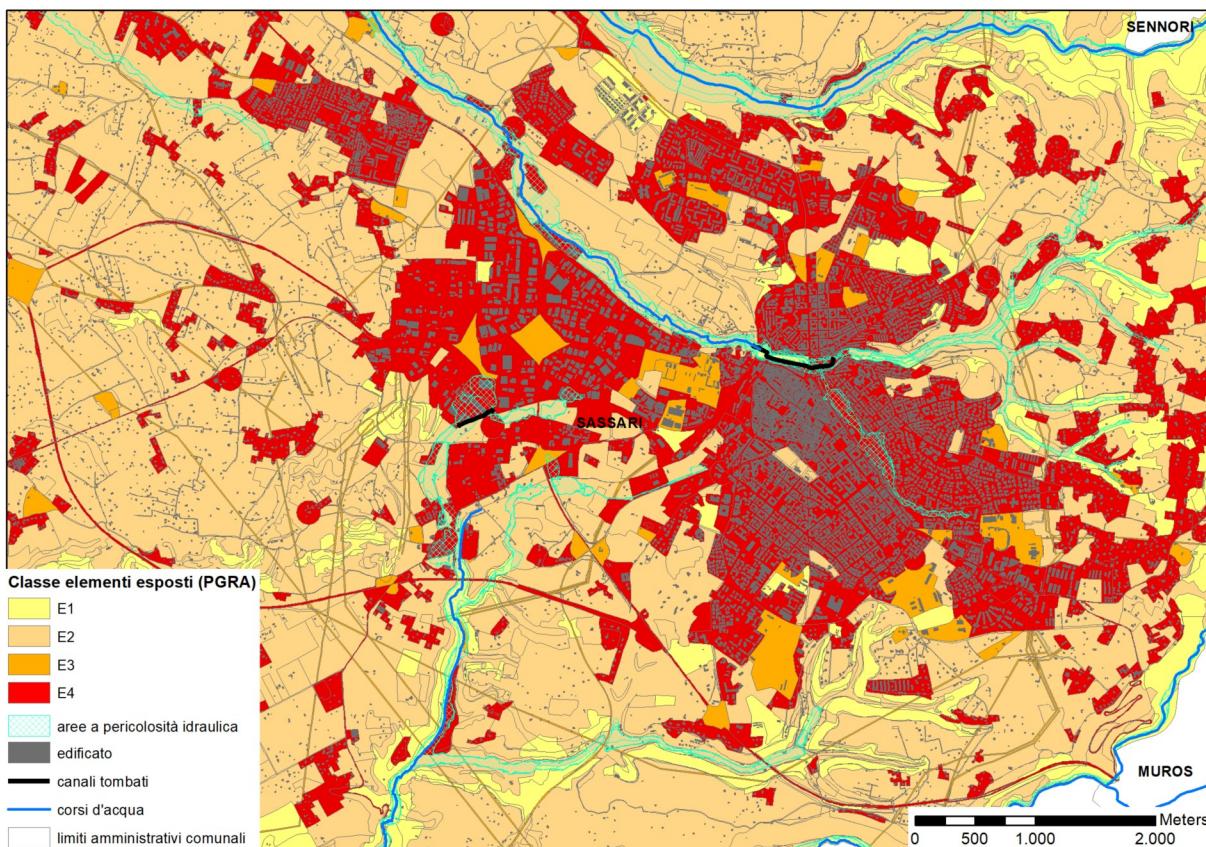


Figure 29: Carte de la superposition des zones à dangerosité hydraulique et des tronçons remblayés avec les éléments vulnérables représentés par classes dans le centre urbain de Sassari (source : PGRI)

## La capacité d'adaptation dans le territoire communal

La capacité d'adaptation de la Commune de Sassari relativement au risque hydraulique a été analysée selon cinq déterminants: connaissance et conscience, infrastructures, capacité institutionnelle et ressources économiques. L'analyse a été effectuée sous forme matricielle (AFOM) en soulignant, pour chaque catégorie, les Atouts (*Strengths*), les Faiblesses (*Weaknesses*), les Opportunités (*Opportunities*) et les Menaces (*Threats*).

En particulier, la "connaissance et la conscience" et les "ressources économiques" disponibles dans le territoire indiquent la possession ou la possibilité d'accéder aux outils et aux informations qui rendent le système en mesure de comprendre les phénomènes de dégradation et de répondre à l'urgence. Par le déterminant "capacité institutionnelle et infrastructures", par contre, on veut évaluer la capacité de l'administration communale et des autorités compétentes de faire face aux événements potentiellement catastrophiques, qu'il s'agisse d'outils opératifs, de connaissance et d'organisation disponibles, ou de capital humain et de moyens. L'analyse a été menée en regroupant les informations dérivées de quelques indicateurs représentatifs du déterminant considéré, tels que, par exemple, le nombre de diplômés d'université ou la proximité des sièges des autorités chargées de la gestion de l'urgence, dont une liste est incluse au Tableau 10. Les fonctionnaires communaux ont fourni des informations concernant l'activité de programmation et de projet menée par l'administration, y compris les considérations mises en lumière lors de différents réunions avec les parties prenantes locales - qui ont eu lieu dans le cadre de projets d'adaptation promus par la Commune de Sassari - et à la suite des analyses suivant la Stratégie Régionale d'adaptation au changement climatique (SRACC)<sup>1</sup> de la Région Sardaigne. L'analyse SWOT est donc montrée au Tableau 11.

**Tableau 10. Indicateurs de capacité d'adaptation utilisés avec référence au risque hydraulique**

Déterminant	Indicateur	U.M.	Source
Connaissance e conscience	Diplôme universitaire	%	ISTAT – Recensement général de la population et des habitations 2011
Capacité institutionnelle et infrastructures	Couverture moyenne stations de forêt CFVA, détachement de pompiers, cellule Agence Fo.Re.STAS, organisations volontariat, postes de guet	km	Plan Régional de Prévision, Prévention et Lutte active contre les incendies de forêt - 2018
Ressources économiques	PNB	€/par tête x103	ISTAT, 1991

1

<https://portal.SardegnaSira.it/strategia-regionale-di-adattamento>



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



**Tableau 11. Analyse SWOT de la capacité d'adaptation de la Commune de Sassari au risque hydraulique**

<b>CONNAISSANCE ET CONSCIENCE</b>	
<b>Atouts</b> Le haut pourcentage de diplômés d'université (14,59% de la population résidente, égal à presque trois fois la moyenne régionale) facilite la compréhension et la prévention du risque hydraulique.	<b>Faiblesses</b> On constate un manque général de connaissance et de conscience chez la population à l'égard des criticités du territoire et des comportements à adopter le cas échéant.
<b>Opportunités</b> Possibilité d'information et sensibilisation d'opérateurs et de la population par l'engagement, par exemple, à travers l'exercice de protection civile, à l'acte d'attribution de la charge pour l'adaptation du Plan de Protection Civile aux nouvelles lignes directrices régionales.	<b>Menaces</b> Progressive perte de protection et de connaissance du territoire, de ses caractéristiques géologiques et hydrogéologiques à cause de l'abandon progressif des activités agro-sylvo-pastorales.

### **CAPACITE' INSTITUTIONNELLE ET INFRASTRUCTURES**

<b>CAPACITE' INSTITUTIONNELLE ET INFRASTRUCTURES</b>	
<b>Atouts</b> La Commune est dotée du PUC adapté au PPR et au PAI, entré en vigueur à la fin de 2014, et de la relative Etude de compatibilité hydraulique du territoire communal, rédigée en 2012 au sens de l'art. 8 paragraphe 2 des NTA du PAI, identifiant les zones à dangerosité hydraulique.	<b>Faiblesses</b> L'étude de compatibilité comprend la seule cartographie de la dangerosité et non pas celle du dommage potentiel et du risque ; donc l'identification ponctuelle des éléments vulnérables n'est pas présente.
La Commune est dotée d'un Plan de Protection Civile, rédigé en décembre 2011 conformément à l'O.P.C.M. 27 octobre 2007 n. 3624/07, approuvé définitivement en 2013, qui détermine le modèle d'intervention le cas échéant.	Le Plan de Protection Civile est en train d'être mis à jour selon les nouvelles lignes directrices de la Dél. G.R. n. 20/10 de 12.04.2016), donc il ne contient pas encore l'identification ponctuelle des éléments vulnérables.
Plan d'Action des Energies Durables (PAES)	Il manque un cadastre des passages routiers sur les lits des rivières et des ouvrages hydrauliques intéressées par la dynamique des eaux superficielles en conditions de crue, pour en identifier les limites d'exercice et en programmer l'adaptation
La Commune a adhéré au « Mayors' Adapt » le 8 novembre 2011 et a souscrit le nouveau Pacte des Maires pour le Climat et l'Energie le 10 Novembre 2017	Il manque un plan d'entretien des cours d'eau au niveau communal ou sus-communal, élaboré à l'échelle du bassin
La Commune a présenté, dans le cadre du POR FESR 2014-2020, un projet de requalification et valorisation de la vallée du Rosello, visant à la protection, à la durabilité environnementale et à l'inclusion sociale (ITI Requalification et valorisation de la vallée du Rosello, Annexe à la Délib.G.R. n. 20/9 du 12.4.2016)	Les plans d'entretien des infrastructures sont insuffisants, inefficaces ou inexistantes.
La Commune a participé et est en train de prendre partie à plusieurs projets pour l'adaptation au changement climatique, tels que: Projet Tender CO2 (Loi Régionale 7, Avis 2010), Sassari-Climathon 2017 (Climat-KIC 2017), Sassari-Climathon 2018 (Climat-KIC 2018), Sassari-Climathon 2019 (Climat-KIC 2019),	



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

LIFE MASTER ADAPT (LIFE Climat Change Adaptation, 2015)

La Commune a déjà mis en œuvre plusieurs initiatives et ouvrages d'adaptation: jardins potagers urbains, jardin dans la place Monsignor Carta, rétablissement et réhabilitation d'anciennes routes et sentiers de liaison entre les petites villes de l'arrière-pays de Sassari et les localités de la vallée du Loguentu

La présence dans le territoire communal des sièges des différents autorités chargées de faire face aux urgences (Pompiers, Corps Forestier et de Surveillance Environnementale, Fo.Re.STAS, associations de volontariat) augmente la capacité opérationnelle le cas échéant

Opportunités	Menaces
Possibilité d'envisager - à l'acte de l'attribution de la charge pour l'adaptation du Plan de Protection Civile aux nouvelles lignes directrices régionales (si possible, avant l'approbation du Plan) - d'entraînements pour les fonctionnaires communaux chargés des activités de protection civile et pour la population, pour en favoriser l'efficacité réelle et la mise en œuvre	Il faudrait une nouvelle loi d'urbanisme régionale adaptée aux problèmes liés au risque hydrogéologique et au changement climatique
Possibilité d'adhésion aux initiatives et aux projets Communautaires pour l'adaptation au changement climatique	Il manque des mesures, ou bien elles sont inefficaces, pour lutter contre la construction illégale
La présence de la Stratégie Régionale d'adaptation au changement climatique, récemment adoptée par délibération du Conseil Régional n.6/50 du 5 février 2019	Difficulté et lenteur dans le processus d'approbation des PUC et des études de compatibilité hydraulique et hydrogéologique, liées à la complexité technique et administrative des procédures et aux coûts élevés, outre qu'aux nombreux intérêts en jeu
	Complexité des études requis et manque de ressources financières régionales adéquates, à destiner aux Communes ou aux Provinces, pour l'élaboration de plans d'entretien des cours d'eau, au niveau communal ou sus-communal, envisagés à l'échelle de bassin
	Méfiance générale vis-à-vis des mesures pour la délocalisation des éléments à risque, surtout pour la mise en œuvre d'actions d'aménagement hydraulique et/ou de protection des bâtiments

RESSOURCES ÉCONOMIQUES	
<b>Atouts</b>	<b>Faiblesses</b>
La bonne disponibilité en ressources économiques, représentée par la haute valeur de PNB par tête (13,7 €/ par tête x10 <sup>3</sup> , égal à environ deux fois et demi par rapport à la moyenne régionale), favorise l'accès aux informations et aux moyens pour la compréhension et la prévention du risque hydraulique	Coût élevé des interventions de réhabilitation environnementale et aménagement hydraulique du territoire

**La cooperazione al cuore del Mediterraneo**  
**La coopération au cœur de la Méditerranée**



# Interreg



UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

	catastrophiques
<b>Opportunités</b>	
Possibilité d'accès aux sources de financement communautaires pour les activités d'adaptation au changement climatique	<b>Menaces</b> <a href="#">Coûts élevés</a> pour la communauté, liés aux dommages conséquent aux événements de dégradation qui ne sont pas adéquatement prévus et aménagés



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

## Synthèse du Profil Climatique Local

Le Profil Climatique Local de la Commune de Sassari (ADAPT, 2018) montre les résultats de l'analyse de la variabilité climatique locale observée et des possibles anomalies climatiques attendues pour l'avenir à cause du changement climatique. Ci-après, on va présenter seulement les résultats principaux, à savoir les plus importants en vue de l'analyse de la dangerosité par inondation. Pour un aperçu des résultats complets, voir le document original.

Le Profil Climatique Local est structuré en deux parties. La première propose une analyse de la variabilité climatique observée, focalisée sur l'étude des séries historiques de données observées auprès de la station thermo/pluviométrique de Sassari, en localité Serra Secca (comprise dans le réseau A.R.P.A.S. – Département Météoclimatique), référencées à la période "historique" 1981-2010. La seconde partie, par contre, illustre l'analyse des anomalies climatiques prévues à l'avenir, obtenues par l'application de modèles climatiques spécifiques intégrés dans le cadre EuroCORDEX<sup>2</sup>; les scénarios futurs se réfèrent à deux niveaux différents de concentration des gaz déstabilisateurs du climat (RCP4.5<sup>3</sup> et RCP8.5<sup>4</sup>) et à trois cadres temporels futurs différents (court terme 2011-2040, moyen terme 2041-2070, long terme 2071-2100)<sup>5</sup>. Les variables climatiques considérées sont notamment la précipitation cumulée journalière et la température moyenne journalière, éventuellement regroupées sur une base mensuelle, saisonnière ou annuelle pour le calcul d'indices climatiques significatives. Ce document se réfère exclusivement à la variable précipitation, considérée la plus intéressante pour l'analyse de l'influence des changements climatiques sur les inondations.

La Figure 30 montre l'analyse de l'état de fait, à savoir des observations historiques dans la période de référence 1981-2010; pour chaque année on a indiqué la valeur moyenne de la précipitation cumulée et le 5<sup>ème</sup> et 95<sup>ème</sup> centiles. On peut remarquer que la précipitation est en moyenne inférieure dans les mois estivaux (juin, juillet, août) et supérieure dans les mois automnaux (septembre, octobre, novembre); une plus grande dispersion est associée à

<sup>2</sup> <http://www.euro-cordex.net>

<sup>3</sup> Le scénario IPCC RCP4.5 (stabilisation moyenne-faible) prévoit que d'ici à 2070, les émissions de CO<sub>2</sub> descenderont au-dessous des niveaux actuels et la concentration atmosphérique va se stabiliser à environ le double par rapport aux niveaux préindustriels.

<sup>4</sup> Le scénario IPCC RCP 8.5 (émissions élevées) prévoit qu'avant 2100, les teneurs atmosphériques en CO<sub>2</sub> seront triplées ou quadruplées par rapport aux niveaux préindustriels.

<sup>5</sup> La durée trentennale est considérée comme appropriée pour la caractérisation tant des valeurs moyennes que des extrêmes des variables atmosphériques d'intérêt (WMO, 2007; IPCC 2013a).



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

l'automne par rapport à la moyenne, comme l'on montre l'ampleur de la bande à 90%. Par contre, les mois estivaux ont une variabilité extrêmement réduite, indiquant la stabilité de cette caractéristique au cours des années. Les analyses statistiques détaillées n'ont pas montré aucune tendance significative dans la série historique relative à la précipitation cumulée mensuelle, ni d'autres valeurs climatiques pluvio-dépendantes, également considérées dans le Profil Climatique Local.

Les Figures 31-36, en revanche, montrent les résultats des projections climatiques disponibles pour les différents modèles de simulation, les scénarios de concentration et les cadres temporels futurs considérés. Attendue la plus grande fiabilité des modèles climatiques sur les valeurs des anomalies climatiques journalières par rapport aux valeurs de précipitation journalière future (Cannon et al., 2015), les résultats des analyses sont représentés non pas dans le cadre de séries historiques de données cumulées, mais comme valeurs pluviométriques<sup>6</sup>. En l'espèce, après avoir consulté les autorités compétentes, les valeurs suivantes ont été considérées comme significatives<sup>7</sup>:

- SDII = précipitation moyenne journalière dans les jours avec précipitation  $\geq 1$  mm;
- RX5DAY = maximum annuel de précipitation cumulée sur 5 jours consécutifs;
- CDD = nombre maximal annuel de jours consécutifs avec précipitation  $< 1$  mm;
- CWD = nombre maximal annuel de jours consécutifs avec précipitation  $\geq 1$  mm;
- RR1 = nombre de jours par an avec précipitation  $\leq 1$  mm;
- PRCPTOT = précipitation cumulée annuelle dans les jours avec précipitation  $\geq 1$  mm.

L'évolution mutuelle de ces valeurs fournit des indications sur l'intensité et les données cumulées annuelles/saisonnieres de précipitation. Par exemple, une augmentation future de SDII et CDD (et également, de RX5DAY), avec une diminution contemporaine de CWD (et en même temps, de RR1) laisse présager une augmentation de l'intensité moyenne annuelle de pluie et, parallèlement, une diminution des jours pluvieux. Cette particulière variation des valeurs, en effet, montre qu'il faut s'attendre à une augmentation des jours non pluvieux, liée, par contre, à une augmentation des données cumulées dans les jours pluvieux. En revanche,

<sup>6</sup> Ces indicateurs estiment les caractéristiques des événements identifiés comme "moderately rare weather events" et ils incluent la fréquence, l'intensité et la persistance d'une condition atmosphérique; ils sont largement utilisés dans l'évaluation de la variation de ce type d'événements dans le domaine du changement climatique.

<sup>7</sup> Les indices considérés sont extraits de l'ensemble ETCCDI: <http://etccdi.pacificclimat.org/index.shtml>



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

l'effet du changement climatique sur la précipitation cumulée annuelle est indiqué par la valeur PRCPTOT: au cas où elle diminuera dans le futur, avec une augmentation de SDII et une diminution de CWD, on aurait une augmentation de l'intensité de pluie et, simultanément, une diminution de la hauteur de pluie annuelle. Cela, à son tour, se traduirait par une avérée augmentation de la fréquence des événements météoriques extrêmes.

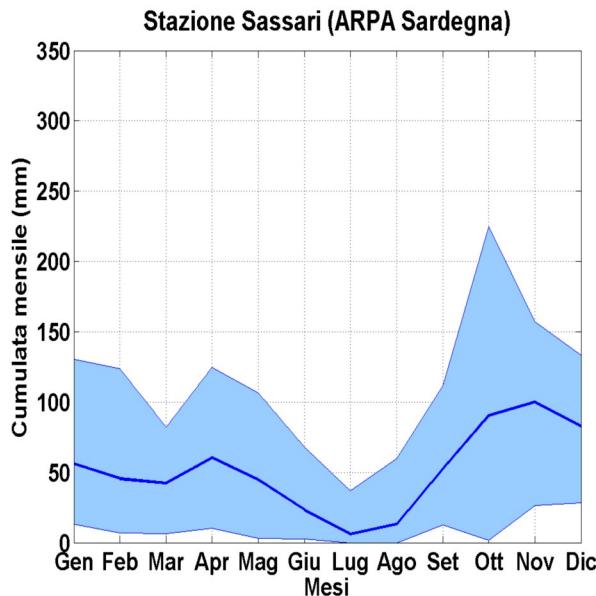


Figure 30: Précipitation cumulée mensuelle (moyenne sur l'historique et bande à 90%)

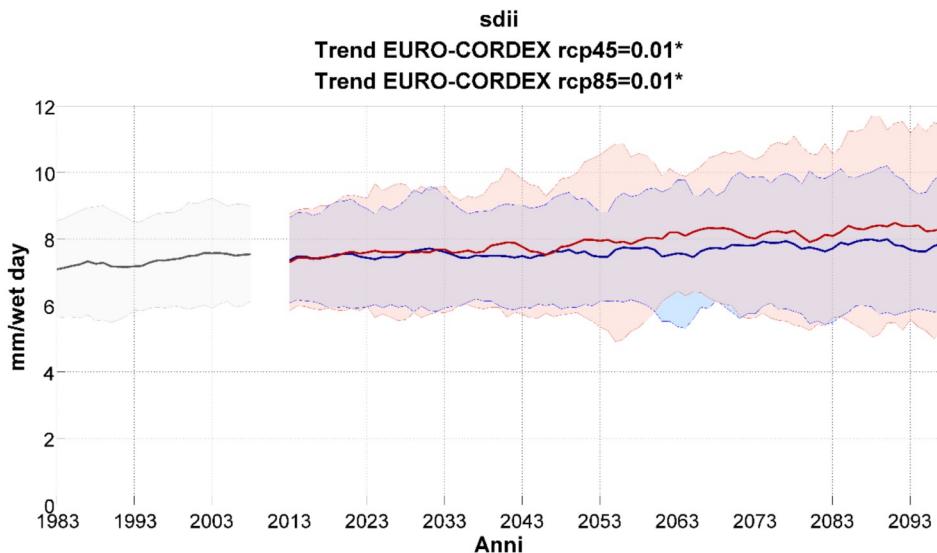


Figure 31: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour la valeur SDII, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). Les lignes continues représentent l'*ensemble mean*; les bandes colorées sont obtenues en additionnant et en soustrayant l'écart type entre les différents modèles climatiques considérés.

La cooperazione al cuore del Mediterraneo  
La coopération au cœur de la Méditerranée



# Interreg



UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

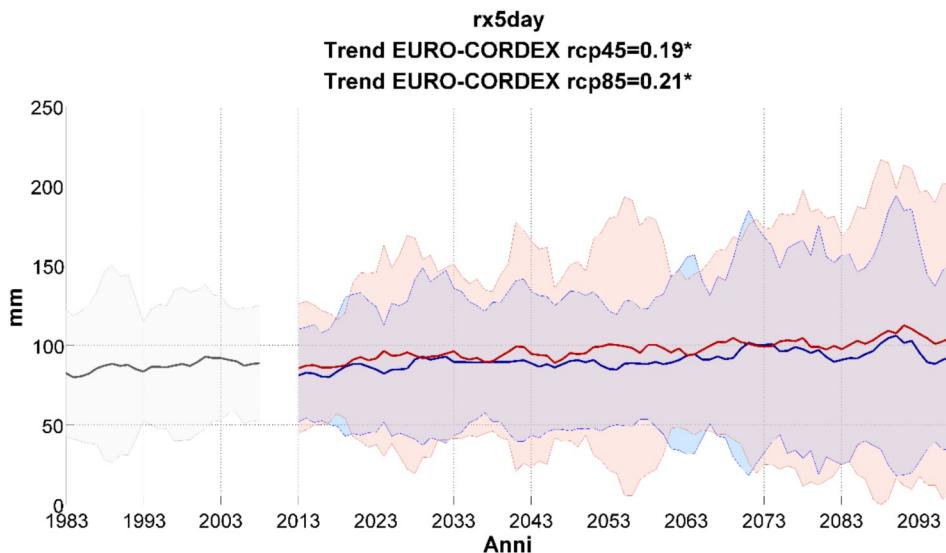


Figure 32: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour la valeur RX5DAY, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). Les lignes continues représentent l'ensemble mean; les bandes colorées sont obtenues en additionnant et en soustrayant l'écart type entre les différents modèles climatiques considérés.

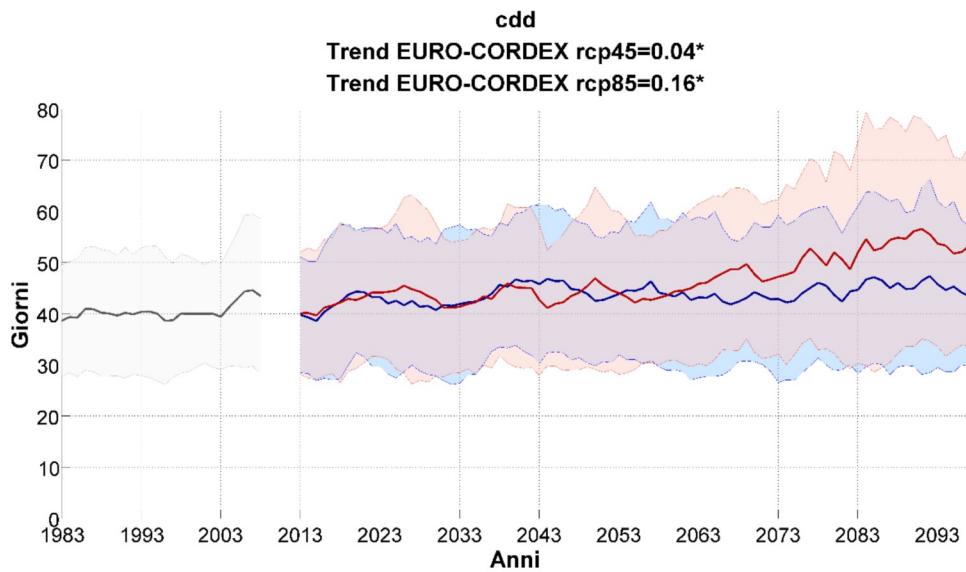


Figure 33: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour la valeur CDD, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). Les lignes continues représentent l'ensemble mean; les bandes colorées sont obtenues en additionnant et en soustrayant l'écart type entre les différents modèles climatiques considérés.

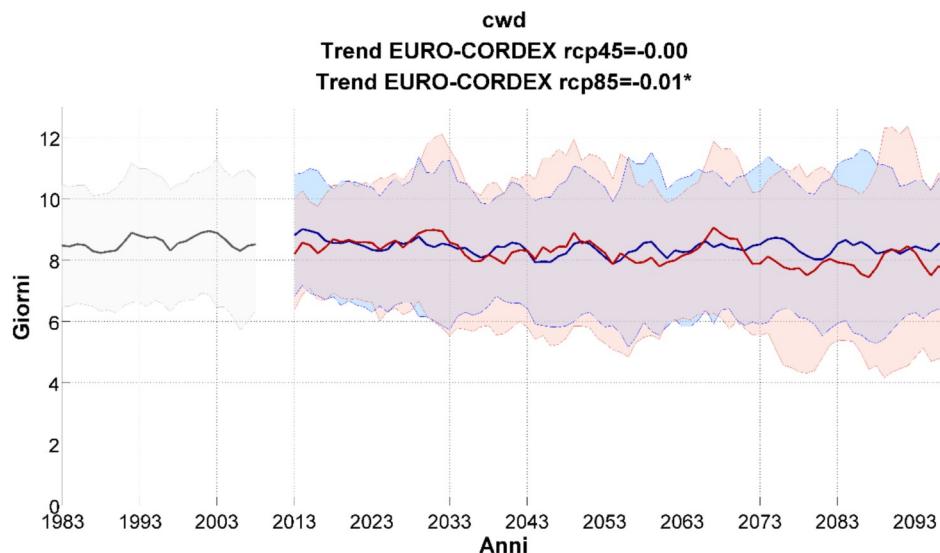


Figure 34: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour la valeur CWD, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). Les lignes continues représentent l'*ensemble mean*; les bandes colorées sont obtenues en additionnant et en soustrayant l'écart type entre les différents modèles climatiques considérés.

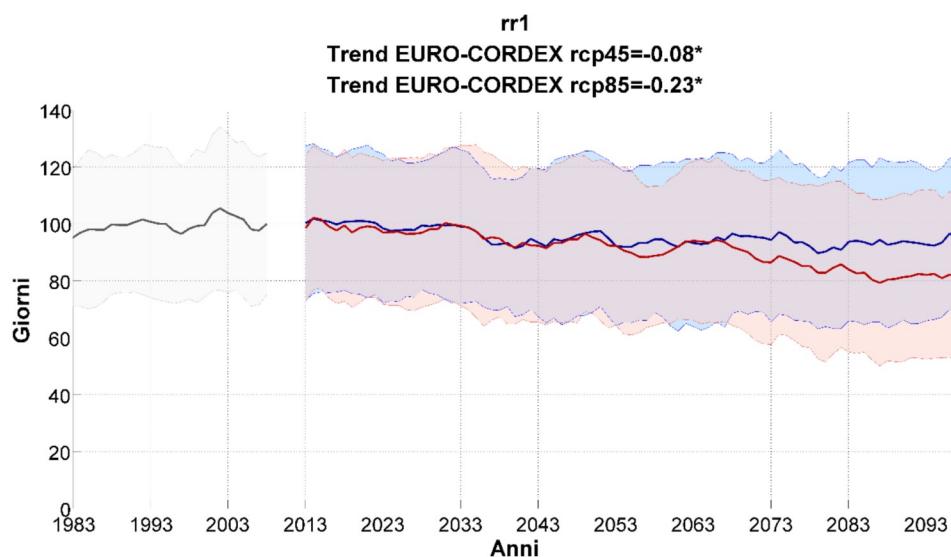


Figure 35: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour la valeur RR1, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). Les lignes continues représentent l'*ensemble mean*; les bandes colorées sont obtenues en additionnant et en soustrayant l'écart type entre les différents modèles climatiques considérés.



# Interreg



UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Les Figures 31-36 montrent que l'évolution ci-dessus reflète précisément ce qu'il ressort des projections climatiques pour la station de Sassari. En particulier, pour les valeurs SDII, RX5DAY, CDD (Figure 31-Figure 33), on a une augmentation significative continue pour les trois scénarios futurs; cette augmentation est plus rapide pour le scénario avec une concentration accrue (RCP8.5); cependant, elle est généralement marquée par une plus grande variabilité. Egalement, la Figure 34 et la Figure 35 montrent une diminution significative de CWD et RR1 d'une manière monotone pour les trois scénarios temporels, avec une décroissance plus rapide pour le scénario avec une concentration plus haute (RCP8.5), auquel on peut associer une variabilité plus grande. Par contre, aucune tendance significative est présente quant à la valeur représentative de la précipitation cumulée (Figure 36).

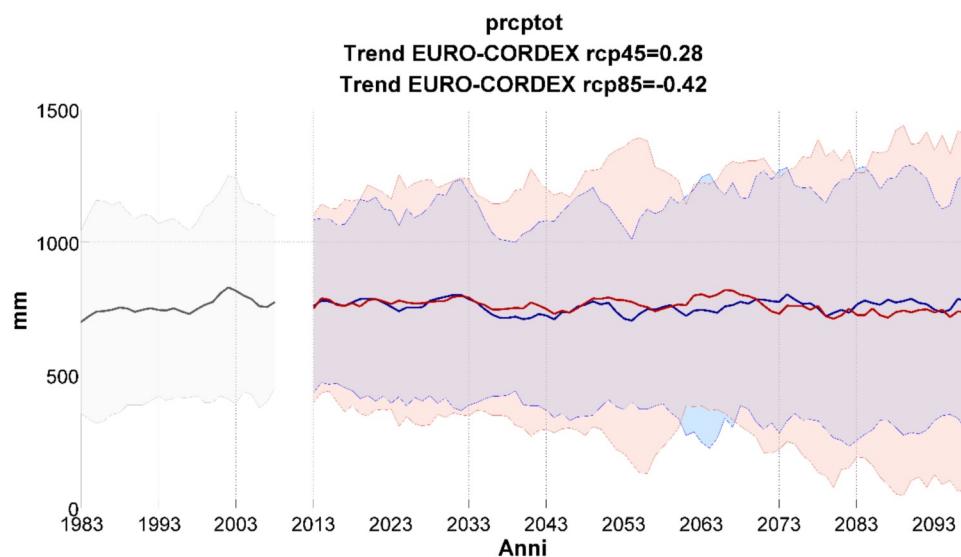


Figure 36: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour la valeur PRCPTOT, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). Les lignes continues représentent l'*ensemble mean*; les bandes colorées sont obtenues en additionnant et en soustrayant l'écart type entre les différents modèles climatiques considérés.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



# Analyse de l'incidence du changement climatique sur les principales criticités locales

Au cours de la dernière décennie, plusieurs études (Drobinski et al., 2018; Marchi et al., 2010) ont montré une modification du régime météorologique sous l'effet cumulé de variations climatiques significatives, altérant le régime thermo-pluviométrique, et de la toujours croissante utilisation des surfaces (Trigila et al., 2018), qui accentue l'impulsivité de la réponse du sol en termes de ruissellement, à savoir, de diminution des délais et des temps de concentration. Cela implique qu'une pluie puisse causer un *flash flood* dû au manque de capacité de détention du sol. C'est pour ces raisons que, dans le cadre du risque hydrogéologique, on peut supposer que le changement climatique puisse avoir un impact plus significatif sur les paramètres de dangerosité.

Les résultats de l'analyse de l'incidence du changement climatique sur la dangerosité hydraulique sont indiqués en détail dans l'annexe B, structuré en:

1. cadre conceptuel;
2. analyse et intégrations du Profil Climatique Local;
3. analyse des données mises à disposition par la plateforme C3S (*Copernicus Climate Change Service Platform*);
4. synthèse des résultats.

Ce paragraphe n'indique que les valeurs récapitulatives des anomalies attendues à l'avenir pour les indicateurs de pluie et de crue considérés dans les analyses.

Ces anomalies sont définies comme des variations en pourcentage par rapport à la valeur courante, correspondant, à son tour, au résultat de l'application du modèle climatique sur la période de référence trentennale.

Par analogie avec les analyses incluses dans les documents du Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC) (MATTM, 2017), les anomalies sont classées en termes de criticité par une coloration sur la base de la magnitude:

- **gris**: anomalie comprise, en valeur absolue, entre 10% ("classe 1");
- **jaune**: anomalie comprise, en valeur absolue, entre 10% et 20% ("classe 2");
- **rouge**: anomalie comprise, en valeur absolue, entre 20% et 100% ("classe 3");



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

- **violet:** anomalie supérieure, en valeur absolue, à 100% ("classe 4").

Le Tableau 12 montre une synthèse des résultats du Profil Climatique Local de la Commune de Sassari, intégrée par d'autre valeurs, comme indiqué ci-dessus. Il est rappelé que les anomalies sont obtenues à partir des simulations EuroCORDEX, en termes d'*ensemble mean*, avec référence à la période trentennale courante, 1981-2010, et à celles futures, 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100. Le tableau montre évidemment que les anomalies attendues pour l'horizon temporel de projection à court terme ne sont pas significatives, étant comprises entre 10% pour toutes les valeurs, à l'exception de R99PTOT, qui présent, néanmoins, une valeur très proche à ce seuil. A l'avenir, les valeurs des anomalies vont augmenter graduellement, jusqu'à atteindre une classification finale avec un tiers des valeurs en classe 1, un tiers en classe 2 et un tiers en classe 3, tandis qu'aucune valeur semble appartenir à la classe 4. Parmi toutes les valeurs, seul CDD, RR1, R95PTOT et R99PTOT changent de classe d'un horizon temporel à un autre, et presque tous changent pour le scénario RCP8.5. En outre, pour toutes les valeurs, le scénario RCP8.5 est plus pénible par rapport au scénario RCP4.5 et, à égalité de scénario de concentration, l'anomalie augmente en passant du court au long terme.

Le Tableau 13 et le Tableau 14 indiquent les anomalies de l'indicateur de pluie *Precipitation Intensity – Duration* pour des durées différentes de l'évènement météorique (1, 2, 3, 6, 12 et 24 heures) et pour trois temps de retour de référence (10, 50 et 100 années) attendues sur trois horizons temporels pour les deux bassins de référence de la Commune de Sassari. Il est rappelé que les anomalies, évaluées dans le cadre du projet SWICCA couramment mis en œuvre sur la plateforme Copernicus C3S, sont obtenues par les simulations EuroCORDEX, en termes d'*ensemble mean*, avec référence à la période trentennale courante 1971-2000 et à celles futures (2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100). Ce qui se reflète ici est que les projections à court terme ne sont pas particulièrement critiques pour aucun temps de retour et aucune durée, tandis que celles à moyen et à long terme présentent un niveau de criticité croissant, qui est plus lourd pour le scénario RCP4.5 par rapport au scénario RCP8.5. De plus, les résultats s'avèrent être assez différents entre les deux bassins; plus précisément, le bassin en aval montre, en moyenne, des conditions moins critiques par rapport au bassin en amont, notamment si l'on considère les projections à moyen terme. Aux Tableau 13 et Tableau 14 ont



indique les valeurs de référence fournies par la plateforme Copernicus C3S, résultant par l'application des mêmes modèles climatiques sur la période actuelle.

**Tableau 12. Variation attendue pour les valeurs du PCL pour les différents scénarios de concentration et les différents horizons temporels**

Valeur	Scénario	Valeur courante*	Taux annuel de variation	Variation attendue (%) à		
				2026	2056	2086
SDII	RCP4.5	9 mm	0,01	1,6	4,9	8,2
	RCP8.5	9 mm	0,01	1,6	4,9	8,2
RX5DAY	RCP4.5	82 mm	0,19	3,2	10,2	17,1
	RCP8.5	82 mm	0,21	3,6	11,3	19,0
CDD	RCP4.5	58 jours	0,04	1,0	3,0	5,1
	RCP8.5	58 jours	0,16	3,9	12,1	20,4
CWD	RCP4.5	6 jours	-	-	-	-
	RCP8.5	6 jours	-0,01	-2,3	-7,3	-12,3
RR1	RCP4.5	69 jours	-0,08	-1,6	-5,1	-8,6
	RCP8.5	69 jours	-0,23	-4,7	-14,7	-24,7
PRCPTOT	RCP4.5	606 mm	-	-	-	-
	RCP8.5	606 mm	-	-	-	-
R50P	RCP4.5	54 jours	-0,03	-0,8	-2,4	-4,1
	RCP8.5	54 jours	-0,11	-2,9	-9,0	-15,1
R50PTOT	RCP4.5	94 %	0,01	0,1	0,5	0,8
	RCP8.5	94 %	0,02	0,3	0,9	1,6
R95P	RCP4.5	6 jours	0,01	2,3	7,3	12,3
	RCP8.5	6 jours	0,01	2,3	7,3	12,3
R95PTOT	RCP4.5	28 %	0,05	2,5	7,9	13,2
	RCP8.5	28 %	0,08	4,0	12,6	21,1
R99P	RCP4.5	2 jours	0	0,0	0,0	0,0
	RCP8.5	2 jours	0,01	7,0	22,0	37,0
R99PTOT	RCP4.5	8 %	0,03	5,3	16,5	27,8
	RCP8.5	8 %	0,06	10,5	33,0	55,5

\*Estimé par les observations sur la période 1981-2010



**Interreg**



UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

**Tableau 13. Variation attendue pour l'indicateur de pluie pour les différents scénarios de concentration et les différents horizons temporels (Alto Riu Mannu)**

T	Scénario	Valeur de référence* (mm)					
		1h	2h	3h	6h	12h	24h
10		17	28	35	47	57	67
50		24	41	52	69	81	91
100		28	48	61	80	93	102
<b>Variation attendue (%) à 2026*</b>							
10	RCP4.5	-1,2	-0,6	1,0	3,6	8,0	6,4
	RCP8.5	2,5	3,8	3,5	4,0	4,0	8,3
50	RCP4.5	-3,8	-3,0	-0,6	3,6	10,4	9,0
	RCP8.5	2,3	4,5	4,0	4,0	4,3	13
100	RCP4.5	-5,0	-4,4	-1,4	3,6	11,6	10,4
	RCP8.5	2,3	5,3	4,5	4,5	4,8	15,5
<b>Variation attendue (%) à 2056*</b>							
10	RCP4.5	1,0	3,2	5,8	7,8	9,2	9,6
	RCP8.5	20,25	20,5	21,75	19,75	19,5	22,25
50	RCP4.5	-0,6	2,6	6,6	9,6	11	12
	RCP8.5	27,25	27,5	30,75	25,75	24,75	30,75
100	RCP4.5	-1,2	2,6	7,2	10,6	12	13
	RCP8.5	31,25	31,5	35	29	27,5	35
<b>Variation attendue (%) à 2086*</b>							
10	RCP4.5	7,6	5,4	4,6	3,2	7,6	8,8
	RCP8.5	21	24	25,25	27,5	24,5	25,25
50	RCP4.5	10,8	7,0	6,0	2,4	8,2	11,4
	RCP8.5	31	36,25	39	43	36,25	38,75
100	RCP4.5	12,8	8,2	7,0	2,0	8,4	12,4
	RCP8.5	35,75	42	45,75	50,5	41,75	45,25

\*Variation en pourcentage selon la valeur de référence (à savoir, simulée sur la période de référence trentennale 1971-2000)



**Interreg**



UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



**Tableau 14. Variation attendue pour l'indicateur de pluie pour les différents scénarios de concentration et les différents horizons temporels (Basso Riu Mannu)**

T	Scénario	Valeur de référence* (mm)					
		1h	2h	3h	6h	12h	24h
10		17	28	36	47	55	64
50		26	43	55	70	79	87
100		31	51	65	83	92	98
<b>Variation attendue (%) à 2026*</b>							
10	RCP4.5	-4,0	-3,8	-2,6	1,4	5,2	1,6
	RCP8.5	-3,5	-2,3	-0,5	0,0	1,0	3,5
50	RCP4.5	-7,8	-7,6	-5,8	0,2	5,6	0,4
	RCP8.5	-8,3	-5,5	-2,8	-2,8	-0,8	2,5
100	RCP4.5	-9,2	-9,2	-7,2	-0,4	6,0	0,0
	RCP8.5	-10,0	-7,3	-3,8	-4,3	-1,8	2,5
<b>Variation attendue (%) à 2056*</b>							
10	RCP4.5	2,4	3,8	6,0	8,2	8,8	6,2
	RCP8.5	9,5	12,25	13,25	14	13,25	10,25
50	RCP4.5	1,0	3,2	5,8	9,6	10,6	6,0
	RCP8.5	9,3	13,5	15,25	15,5	13,25	9,5
100	RCP4.5	0,2	2,8	6,2	10,4	11,4	6,4
	RCP8.5	9,8	14,25	16,25	16,25	13	9,3
<b>Variation attendue (%) à 2086*</b>							
10	RCP4.5	4,0	4,0	4,0	2,8	3,6	2,6
	RCP8.5	19,25	21,75	24,5	29,5	27,25	25
50	RCP4.5	3,8	4,4	4,6	1,6	2,0	0,4
	RCP8.5	25,5	30,5	35,5	43,25	37,25	33,75
100	RCP4.5	4,2	4,8	5,2	1,4	1,2	-0,6
	RCP8.5	28,75	35,25	40,5	49,75	41,5	37,75

\*Variation en pourcentage selon la valeur de référence (à savoir, simulée sur la période de référence de trente ans 1971-2000)

Le Tableau 15 et le Tableau 16, finalement, présentent une synthèse des anomalies attendues pour la valeur de crue *Flood Recurrence*. Il est rappelé que les anomalies, évaluées dans le cadre du projet SWICCA, couramment mis en œuvre sur la plateforme Copernicus C3S, sont obtenues par les simulations EuroCORDEX, en termes d'*ensemble mean*, avec référence à la période trentennale actuelle 1971-2000 et à celles futures (2011-2040, 2041-2070 et 2071-2100), combinées avec le modèle hydrologique *E-HYPE* 2.1. Il est particulièrement évident que les variations attendues sont fort critiques pour tous les scénarios de concentration et les temps



**Interreg**



UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

de retour, à l'exception des projections à court terme pour le bassin en amont. Egalement, pour ce dernier, les anomalies augmentent de façon continue d'un horizon temporel à l'autre. Pour le bassin en aval, la projection à moyen terme est plus lourde de celle à long terme pour tous les temps de retour, à l'exception de  $T = 2$  ans. Aux Tableau 15 et Tableau 16, les valeurs de référence indiquées sont celles proposées par la plateforme Copernicus C3S pour la période courante.

**Tableau 15. Variation attendue pour la valeur de crue pour les différents scénarios de concentration et les différents horizons temporels (Alto Riu Mannu)**

T	Valeur de référence (mc/s)*	Scénario	Variation attendue* (%) à		
			2026	2056	2086
2	18,12	RCP4,5	19,8	26,4	32,0
		RCP8,5	6,8	34,3	30,8
5	27,48	RCP4,5	18,6	31,4	44,8
		RCP8,5	7,3	35,0	36,3
10	33,69	RCP4,5	18,2	33,6	50,0
		RCP8,5	7,8	35,5	38,3
50	47,34	RCP4,5	17,6	37,0	57,6
		RCP8,5	8,0	36,3	41,0
100	53,11	RCP4,5	17,6	37,8	59,6
		RCP8,5	8,3	36,3	42,0

\*Variation en pourcentage selon la valeur de référence (à savoir, simulée sur la période de trente ans de référence 1971-2000)

**Tableau 16. Variation attendue pour la valeur de crue pour les différents scénarios de concentration et les différents horizons temporels (Basso Riu Mannu)**

T	Valeur de référence (mc/s)*	Scénario	Variation attendue* (%) à		
			2026	2056	2086
2	35,41	RCP4,5	26,2	48,4	55,0
		RCP8,5	22,8	51,0	42,0
5	56,55	RCP4,5	24,8	51,8	48,6
		RCP8,5	29,0	52,3	36,3
10	70,55	RCP4,5	24,8	52,8	46,8
		RCP8,5	31,0	52,5	34,8
50	101,36	RCP4,5	24,2	54,2	44,2
		RCP8,5	34,0	53,8	33,0
100	114,39	RCP4,5	24,2	54,4	43,8
		RCP8,5	35,0	53,8	32,5

\*Variation en pourcentage selon la valeur de référence (à savoir, simulée sur la période de trente ans de référence 1971-2000)



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

En définitive, devant les limitations décrites ci-dessus, l'analyse des informations climatiques disponibles à l'heure actuelle pour le domaine d'intérêt permet de tirer les conclusions suivantes:

- On s'attend à un changement du régime pluviométrique et, en particulier, une diminution du nombre des jours pluvieux, associée à une augmentation de la précipitation moyenne journalière (à savoir, peu d'événements pluvieux, mais particulièrement intenses) et du nombre d'événements extrêmes (ce qui est visible par l'analyse du Profil Climatique Local et par celle des données disponibles sur la plateforme C3S pour le territoire en cause). Cette information est très intéressante devant les criticités courantes liées aux problèmes de *pluvial flooding*;
- On s'attend à une variation particulièrement lourde du régime hydrométrique, ainsi qu'il ressort d'une analyse des données disponibles sur la plateforme C3S pour le territoire en cause. Cette information est significative, vues les criticités liées aux problèmes de *river flooding*. Cependant, la quantification correcte de cette variation et des impacts correspondants indique la nécessité d'études plus détaillées sur la base de données et de paramétrages à haute résolution spatiale et temporelle.

Comme décrit ci-dessus, l'analyse des anomalies attendues présente une série d'incertitudes à l'égard des valeurs absolues dérivées du processus informatique, notamment en ce qui concerne les crues. De toute façon, l'évaluation, ne serait-ce que celle qualitative, fondée sur la projection des valeurs pluvio-hydrométriques, suggère ***une possible inadéquation des zones fluviales et, donc, des zones délimitées à l'heure actuelle aux différents niveaux de dangerosité***. En effet, la présence d'un débit, par exemple centennale, ayant une valeur plus grande par rapport à celle courante, implique que les débits atteints en chenal soient probablement plus importants et, donc, que les zones d'expansion latérales soient plus étendues. Bien sûr, cet effet n'est qu'une hypothèse, car l'ampleur de cette expansion devrait être évaluée par des outils appropriés et détaillés, tels que des méthodes physiques fondées sur la simulation du ruissellement en chenal, afin d'évaluer correctement les caractéristiques du courant, tant en termes de débit hydrique que de vitesse. De plus, comme signalé par PSFF et par les autorités locales, à l'heure actuelle la présence d'artefacts à l'intérieur des lits concerne en particulier les passages routiers, qui représentent déjà des obstacles au courant en cas de



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

débits associés à des périodes de retour minimales. Cela provoque des effets de remous en amont, qui vont aggraver les conditions d'inondation. Egalement, les zones fluviales P3 intéressent déjà des zones habitées, en particulier dans l'aire urbaine de la Commune de Sassari. Dans ce sens, *l'élargissement des zones fluviales intéressées par les crues, avec temps de retour de 20-50 ans à cause du changement climatique, pourrait entraîner des impacts socio-économiques significatifs sur cette zone.* Enfin, devant les critiques mises en lumière, surtout dans les contextes urbains suite aux événements de pluie intense des dernières années, *il est nécessaire de procéder à un entretien général des réseaux de drainage.* En définitive, il semble utile d'identifier des mesures et des actions du type *no regret*, visant à améliorer la gestion des ruissellements – en particulier dans le domaine urbain – et à augmenter la résilience du système physique.



**Interreg**



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



## Actions d'adaptation et éléments pour la mise en œuvre

Le choix des actions d'adaptation pour faire face au risque inondations urbaines dans le contexte du changement climatique a été effectué en utilisant plusieurs outils de participation et à l'aide de la consultation d'experts, parties prenantes, administrateurs et citoyens.

La méthodologie adoptée pour le choix des actions d'adaptation a inclus l'utilisation d'une matrice pour combiner les impacts, les objectifs et les aires d'intervention, à partir des matrices élaborées à l'intérieur du Projet LIFE Master Adapt<sup>8</sup> dans le cadre des activités de collaboration et de *networking* entre les deux projets ; ensuite, cette matrice a été modifiée pendant les sessions de travail au sein du projet Adapt.

Le Partenariat Urbain pour l'Adaptation (PUA) a été convoqué à l'occasion de plusieurs rencontres pour la compilation de cette matrice et pour la définition d'objectifs, d'aires d'intervention et d'actions pour faire face aux impacts dérivant des inondations météoriques en milieu urbain:

- session d'*empowerment* du 26 juin 2018;
- workshop du projet LIFE Master Adapt le 19 juillet 2018;
- second *social adapt* organisé au sein du Workshop du projet LIFE Master Adapt le 22 octobre 2018;
- rencontre PUA du 4 décembre 2018.

Les citoyens et les parties prenantes ont été consultés au moyen d'un questionnaire en ligne publié en date du 26 novembre 2018 sur le site institutionnel de la Commune et resté à disposition pour la consultation en ligne jusqu'au 13 décembre 2018 (les résultats du questionnaire sont montrés à l'annexe C).

L'administration communale et les techniciens communaux ont été consultés à différents moments: une première discussion sur les actions a eu lieu pendant la session d'*empowerment* et on a eu d'autres échanges à l'occasion des rencontres avec le PUA et au cours d'un échange continu avec les consultants et les techniciens responsables de l'élaboration du Plan.

<sup>8</sup>

<https://masteradapt.eu/>

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Dans le cadre de ces échanges et consultations, 30 actions ont été identifiées pour répondre aux possibles impacts socio-économiques, directs et indirects (à l'égard de personnes, biens et services) causés par les inondations en milieu urbain.

Les actions identifiées ont été regroupées en 5 objectifs principaux:

1. Accroître et approfondir les connaissances à travers la formation et l'information
2. Améliorer la *gouvernance*
3. Améliorer le système de suivi et d'alerte
4. Promouvoir et appliquer les bonnes pratiques dans le secteur du *greening* urbain et de la gestion des eaux
5. Promouvoir des interventions structurales pour la réduction du risque hydraulique.

Les cinq objectifs identifiés sont en ligne avec les Macro-Objectifs (MO) spécifiques indiqués dans la SRACC de la Région Sardaigne pour le secteur Dégradation Hydrogéologique<sup>9</sup>.

Plus en détail: l'objectif 1 peut être relié au MO1 de la SRACC visant à "Sensibiliser et éduquer à la gestion du risque hydrogéologique en Sardaigne", l'objectif 2 aux MO5 et MO6 relatifs à la "Planification du territoire intégrée, adaptive et participée" et "Adapter la législation et l'organisation institutionnelle", l'objectif 3 au MO2 "Créer des systèmes d'alerte « early-warning » dans les aires les plus à risque", l'objectif 4 au MO4 "Développer des nouveaux modèles de planification "naturaliste" et l'objectif 5 au MO3 "Mettre en sécurité les populations les plus exposées dans les zones à risque".

Pour chaque objectif, un ou plusieurs aires d'intervention ont été identifiés et on a associé des actions à chacun d'eux.

9

<http://delibere.regione.Sardegna.it/protected/45525/0/def/ref/DBR45368/>

**La cooperazione al cuore del Mediterraneo**  
**La coopération au cœur de la Méditerranée**



Les aires d'intervention pour chaque objectif sont les suivants:

### Obiettivo 1

Accrescere e approfondire le conoscenze attraverso la formazione e l'informazione

- Formazione

- Sensibilizzazione e divulgazione

### Obiettivo 2

Migliorare la *governance*

- Organizzazione e gestione
- Adeguamenti legislativo e regolatore

### Obiettivo 3

Migliorare il sistema di monitoraggio e di allerta

- Monitoraggio e nuove tecnologie

### Obiettivo 4

Diffondere e applicare buone pratiche nel settore del *greening* urbano e della gestione delle acque

- Soluzioni basate sui servizi ecosistemici

### Obiettivo 5

Promuovere interventi strutturali per la riduzione del rischio idraulico

- Sistemi di stoccaggio e di difesa







































## Mise en œuvre des actions, suivi et évaluation

Le système de Suivi et d'Évaluation de ce Plan, suivant les principes présentés dans le rapport P 6.1 "Système de Suivi", est divisé en trois parties principales:

- le suivi du plan,
- le suivi des risques et de la vulnérabilité,
- le suivi des actions.

Pour chacune des parties ci-dessus, le suivi consiste en la sélection des indicateurs, la collecte ultérieure des données au moyen de la fiche « Outil de suivi du plan et des actions » et enfin, la communication des informations.

Nous rappelons ici les principes qui doivent constamment guider ces étapes, comme le suggère la *Global Reporting Initiative* (GRI), un référentiel international constitué pour rendre compte des performances aux plans environnemental, social et économique :

- **Précision.** Les informations choisies doivent être représentatives des phénomènes en question, significatives (en particulier, elles doivent être pertinentes pour le risque inondation et l'adaptation conséquente) et détaillées, afin de produire des connaissances utiles.
- **Impartialité et transparence.** Les données doivent refléter les aspects négatifs et positifs de la performance à surveiller, sans supprimer les informations non désirées.
- **Clarté.** Les données et les informations doivent être communiquées de manière compréhensible et claire pour tous les parties prenantes concernées (et, compte tenu de l'objectif de *accountability*, dans ce cas précis, tous les citoyens de la Commune).
- **Comparabilité.** Les données doivent être sélectionnées de manière cohérente (avec des unités de mesure homogènes) et constante dans le temps (en assurant la continuité de la collecte des données), afin de permettre la comparaison aussi bien entre les différentes municipalités que dans le temps.

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

- **Fiabilité.** Les informations doivent être vérifiables et la manière dont les données sont collectées doit être clairement indiquée, afin de rendre explicite la qualité du processus.
- **Ponctualité.** Les informations doivent être collectées et diffusées selon un calendrier précis.

Le processus de suivi adopté ici suit l'approche proposée dans le rapport P 6.1 "Système de suivi" et se déroule conformément à la liste de contrôle de l'avancement du plan suggérée dans la fiche « Outil de suivi du plan et des actions» ci-dessous:

#### **Phase 1: Préparer le terrain**

- Définition des engagements en matière d'adaptation, pour faire face au risque inondations
- Identification des ressources humaines, financières et techniques
- Désignation du responsable du Plan et du groupe de travail, définition des responsabilités
- Analyse du cadre réglementaire
- Définition des mécanismes de coordination horizontal
- Définition des mécanismes de coordination vertical
- Définition des mécanismes de participation des parties prenantes
- Processus continu de communication avec les parties prenantes

#### **Phase 2: Analyse du risque et des vulnérabilités**

- Prospection de nouvelles méthodologies et sources de données en vue de l'analyse
- Profil Climatique Local
- Analyse des risques et des vulnérabilités, actuelles et futures
- Sélection des secteurs ayant plus d'impact
- Révision ou intégration de nouvelles connaissances

#### **Phase 3: Actions (identification et sélection)**

**La cooperazione al cuore del Mediterraneo**  
**La coopération au cœur de la Méditerranée**

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

- Elaboration d'un catalogue d'options d'adaptation par rapport aux impacts considérés
- Intégration des actions d'adaptation dans d'autres documents de planification
- Approbation des actions et sensibilisation des parties prenantes

#### Phase 4: Actions (mise en œuvre)

- Définition du cadre de la mise en œuvre (désignation des responsables, définition des temps et des ressources financières)
- Mise en œuvre et intégration des actions

#### Phase 5: Suivi

- Définition du cadre du suivi
- Sélection des indicateurs appropriés
- Reporting périodique des progrès aux décideurs politiques
- Mise à jour et révision du Plan

Pour chaque phase, l'état d'avancement est défini selon le schéma d'autoévaluation, qui permettra de temps en temps la définition du processus général d'adaptation où l'administration de la Commune de Sassari se trouvera.

L'état moyen pour chaque phase pourra donc être visualisé à l'aide d'un diagramme en toile d'araignée, qui va montrer les aires couverts de façon plus approfondie et également, celles où il faudra se concentrer à l'avenir.

Tableau 17. Autoévaluation de l'état d'avancement du processus d'adaptation

Etat	Pourcentage d'avancement	Code couleur	Echelle
Pas commencé ou vient de commencer	0%-25%	rouge	D
Etat initial	25%-50%	jaune	C
Etat avancé	50%-75%	vert	B
En voie d'achèvement ou terminé	75%-100%	bleu	A

## Suivi du plan

Cette phase comprend le suivi et la vérification de la qualité de la mise en œuvre du plan. Sur la base de ce que l'on a suggéré par le Rapport P 6.1 "Système de suivi", les indicateurs minimum ont été adoptés pour permettre le suivi et on a défini, en accord avec le responsable du plan, les valeurs cibles pour chaque indicateur (Tableau 18). Les premiers trois indicateurs rendent compte de la qualité du processus de mise en œuvre du plan, tandis que le second groupe concerne la participation des parties prenantes pendant le processus, afin que le procédé soit le plus inclusif et transparent possible. Finalement, la mise en œuvre et l'efficacité du Plan seront évaluées par le suivi de la mise en œuvre et de l'efficacité des actions y contenues, au moyen des indicateurs montrés au Tableau 22.

**Tableau 18. Indicateurs et Valeurs Cibles adoptés dans ce plan de suivi**

<b>Gestion et mise en œuvre du plan</b>	
<i>Indicateur</i>	<i>Valeur Cible</i>
Rencontres techniques (n°)	2/an
Réglementations/plans/programmes/projets contenant des actions sur le thème de l'adaptation (n°)	3/an
Quantité de ressources financières mises à disposition par la Commune pour les actions d'adaptation (€)	€ 820.000 sur la base des chiffres engagés pour les projets en cours (dont € 20.000 à dépenser avant 2019 et € 800.000 répartis sur plusieurs années)
<b>Inclusion et communication</b>	
<i>Indicateur</i>	<i>Valeur Cible</i>
Catégories de parties prenantes représentées dans le PUA, les partenariats urbains pour l'adaptation prévus par le projet ADAPT (n°)	18
Rencontres du PUA (n°)	2/an
Communiqués de presse inhérent à l'adaptation et avancement/résultats du projet ADAPT (n°)	3/an

## Suivi des indicateurs de risque et de vulnérabilité

Le second formulaire du système de suivi se focalise sur les indicateurs qui décrivent les Évaluations de risque et des vulnérabilités (ERV) effectuées par l'administration de Sassari et mentionnées dans les paragraphes ci-dessus de ce document. En particulier, il s'agit d'indicateurs qui représentent les performances des hazards, des vulnérabilités et des risques attendus à cause du changement climatique, selon ce que l'on a présenté dans le document "Profil Climatique Local" et aux paragraphes "Analyse des principaux criticités locales à l'heure actuelle", "Synthèse du Profil Climatique Local" et "Analyse de l'incidence du changement climatique sur les principales criticités locales" de ce document (Tableau 19, Tableau 20 et Tableau 21).

Il est rappelé que la terminologie utilisée dans ce document, normalement adoptée dans le cadre des PAESC, est conforme à celle qui est typiquement adoptée par les outils de planification habituels pour la gestion du risque inondations (dont la terminologie est, à son tour, empruntée au D.Lgs.49/2010, qui accueille la Directive Européenne Inondations 2007/60).

Comme l'on a souligné par le Rapport P 6.1 "Système di suivi", et également par ce document, une quantification correcte de l'effet du changement climatique sur le régime des pluies et des crues extrêmes nécessite d'enquêtes plus approfondies, même s'il est possible de tirer des indications sur l'existance des tendances probables. Par conséquent, les indicateurs proposés pour le suivi de la dangerosité sont à considérer valides, non pas en tant que valeurs absolues, mais plutôt pour la tendance qu'ils impliquent en termes de croissance ou diminution de la quantité décrite par le même indicateur. Le Tableau 19 montre les indicateurs proposés pour le suivi de la dangerosité; en l'absence d'enquêtes plus détaillées sur l'incidence du changement climatique sur les inondation, quelques-uns d'entre eux (extension des zones à dangerosité hydraulique, débit de crue maximal annuel) sont une expression directe du phénomène en cause, tandis que d'autres (hauteurs de pluie maximales annuelles, volumes cumulés, etc.) sont à considérer en tant que *proxy*. Egalement, il faut remarquer que parmi tous les indicateurs proposés, seulement quelques-uns peuvent être sujets à un traitement basé sur les probabilités (indication des temps de retour) et

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

seulement ceux-ci, donc, peuvent être interprétés rigoureusement comme des hazards. Pour tous les indicateurs, enfin, une projection a été proposée pour l'anomalie attendue à court, moyen et long terme pour les deux scénarios de concentration RCP4.5 et RCP8.5, avec une valeur de référence pour la période courante (éstimé à l'aide de l'application de modèles climatiques). Cette évaluation n'a pas fait l'objet d'études pour ce qui concerne l'extension des zones sujettes à dangerosité hydraulique.

Or, vue que la Commune de Sassari est comprise à l'intérieur de deux bassins hydrographiques contenus dans la plateforme Copernicus C3S, tous les indicateurs dérivés de cette plateforme présentent double valeurs ; ainsi, on propose de considérer pour chaque indicateur, la valeur la plus critique entre les deux bassins.

**Tableau 19. Indicateurs de dangerosité sélectionnés dans ce plan de suivi**

<i>Indicateur</i>
A - Extension des zones sujettes à dangerosité hydraulique (P1, P2 et P3)
Qmax – Débit de crue maximal annuel
SDII - Précipitation moyenne journalière dans les jours de précipitation supérieure ou égale à 1 mm
RX5DAY – Maximal de précipitation sur 5 jours consécutifs à l'échelle annuelle
R99P - Nombre de jours par an où la précipitation est supérieure ou égale au 99 <sup>ème</sup> centile
R99PTOT - Précipitation cumulée annuelle dans les jours avec précipitation supérieure ou égale au 99 <sup>ème</sup> centile
h – Hauteur de pluie maximale annuelle pour des durées différentes (1, 2, 3, 6, 12 et 24 heures)

**Tableau 20. Indicateurs de vulnérabilité sélectionnés dans ce plan de suivi**

<i>Type de Vulnérabilité</i>	<i>Indicateur</i>
Socio-économique	Nombre d'habitants
	Nombre de bâtiments résidentiels
	Nombre de bâtiments stratégiques
	Nombre d'activités productives
	Nombre de biens culturels
	Nombre de structures d'accueil
Physique et Environnementale	Nombre de sites d'intérêt environnemental/esthétique/paysager/naturaliste/soumis à des contraintes
	Extension des sites d'intérêt

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

	environnemental/esthétique/paysager/naturaliste/soumis à des contraintes
--	--

*Tableau 21. Indicateurs d'impact sélectionnés dans ce plan de suivi*

Type de Vulnérabilité	Indicateur
Construction	Nombre de bâtiments résidentiels/stratégiques/autre, zone P1/P2/P3
Transports	Extension lignes routières, zone P1/P2/P3
Energie	Extension lignes à haute tension, zone P1/P2/P3
Eau	Extension conduites d'eau, zone P1/P2/P3
Déchets	Nombre/ extension sites de stockage, zone P1/P2/P3
Production et commerce	Nombre activités productives/commerciales, zone P1/P2/P3
Agriculture et forêts	Extension zones agricoles/forestières, zone P1/P2/P3
Environnement et biodiversité	Nombre/ extension sites soumis à des contraintes, zone P1/P2/P3
Santé	Nombre d'hôpitaux/structures d'hospitalisation, zone P1/P2/P3
Protection civile et cas d'urgence	Nombre de résidents dans les zones P1/P2/P3
Tourisme	Nombre/ extension sites soumis à des contraintes/structures d'accueil, zone P1/P2/P3

### **Suivi des actions**

Pour chacune des actions d'adaptation identifiées au paragraphe “Actions d'adaptation et éléments pour la mise en œuvre” on a identifié des indicateurs spécifiques qui permettent d'évaluer l'avancement de l'action en suivant son efficacité.

Ces indicateurs ont été sélectionnées pour chaque action d'adaptation indiquée au paragraphe ci-dessus et résumées dans l'annexe C. La liste complète des indicateurs associés à chaque action d'adaptation identifiée est montrée au tableau suivant (Tableau 22) et dans la fiche «Outil de suivi du plan et des actions» pour le suivi du Plan d'adaptation.

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Tableau 22. Indicateurs pour l'évaluation de la mise en œuvre et de l'efficacité des actions d'adaptation comprises dans le Plan

<i>ID Action</i>	<i>Indicateur de la mise en œuvre</i>	<i>Indicateur d'efficacité</i>
<b>F1</b>	N. de rencontres de formation par objectif individuel	Pourcentage de réussite à l'épreuve d'évaluation
<b>F2</b>	N. de rencontres de formation par objectif individuel	Pourcentage de réussite à l'épreuve d'évaluation
<b>F3</b>	N. d'exercices effectués	Pourcentage de réussite à l'épreuve d'évaluation
<b>F4</b>	N. di laboratoires didactiques mis en place	Pourcentage de réussite à l'épreuve d'évaluation
<b>S1</b>	N. d'outils développés (brochures, vidéos, autre)	Nombre de personnes atteintes par le canal d'information (par ex., nombre de visualisations des vidéos, etc)
<b>S2</b>	N. d'événements de communication organisés	Nombre de sujets intéressés par les événements de communication
<b>S3</b>	Développement et lancement de l'application pour le jeu en ligne	Nombre de personnes qui téléchargent et utilisent l'appli
<b>G1</b>	Nombre de projets présentés pour l'entretien ordinaire et extraordinaire ; nombre d'actions de suivi pour le respect des prescriptions PGRI	Augmentation de l'extension des activités d'entretien; réduction des dommages (économiques ou environnementaux) des phénomènes de dégradation hydrogéologique
<b>G2</b>	Rédaction du protocole d'accord Commune-Province	Extension de l'aire intéressé par l'entretien
<b>G3</b>	Création de tables de coordination multi-sectorielles	Nombre de rencontres de la table de coordination; nombre de règlements produits
<b>A1</b>	Ajustement des réglementations en matière de construction	Nombre di projets développés/financés en référence aux nouvelles normes introduites
<b>A2</b>	Production de lignes directrices	Nombre de projets développés/mis à jour en référence aux lignes directrices
<b>A3</b>	Développement de la réglementation	Nombre di projets développés/financés en référence à la nouvelle réglementation
<b>P1</b>	Adoption du Plan Vert; nombre de	Nombre de mesures de "greening"

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

	mesures de "greening" introduites dans le Plan Vert	mises en œuvre
M1	Nombre de protocoles d'accord/accords/conventions signés; suivi des principaux paramètres météoclimatiques (nombre et types de paramètres suivis) finalisés à l'adaptation au changement climatique	Nombre de banques de données climatiques mises à jour chaque année (observations); augmentation de l'extension géographique des réseaux d'observation; réduction du nombre de décès liés aux événements extrêmes, nombre de responsables sur le terrain de l'aménagement du territoire qui utilisent données et modèles climatiques dans leur processus décisionnel
M2	Nombre de capteurs installés et nombre de paramètres suivis	Nombre de banques de données environnementales mises à jour chaque année (observations); extension géographique des réseaux d'observation; nombre de responsables sur le terrain pour l'aménagement du territoire qui utilisent données et modèles climatiques dans leur processus décisionnel, augmentation de l'utilisation des preuves scientifiques à l'aide du processus décisionnel et politique
M3	Développement du système de messagerie/appli pour le déclenchement de l'alerte; nombre d'usagers enregistrés aux systèmes d'alerte et aux services d'information; nombre de messages déclenchés; nombre de fois où le soutien technologique est activé	Réduction du nombre des décès en référence aux événements extrêmes; augmentation du dommage économique évité à choses ou personnes; diminution des effets négatifs sur la population en cas d'événements extrêmes
E1	Nombre d'interventions effectués; ressources dépensées pour les interventions	Augmentation de l'aire intéressée par les interventions
E2	Nombre d'outils développés; extension des parties de la ville concernées dans les projets; superficie (ha) requalifiée	Augmentation absolue (m2) et relative (%) de la superficie requalifiée pour la mise en place

	pour la mise en place de systèmes de collecte/infiltration des eaux météoriques	de systèmes de collecte/infiltration des eaux météoriques; augmentation des outils d'encouragement; réduction des dommages (économiques ou environnementaux) des phénomènes de dégradation hydrogéologique
E3	Nombre de révisions; développement d'un règlement spécifique; nombre de zones identifiées pour la création d'infrastructures vertes	Augmentation absolue (m <sup>2</sup> ) et relative (%) de la superficie publique identifiée pour la création d'infrastructures vertes; mise à jour des règlements énergétiques/environnementaux; réduction des dommages (économiques ou environnementaux) des phénomènes de dégradation hydrogéologique
E4	Nombre de plantes qui seront mises en place; superficie (ha) qui sera utilisée pour les espaces verts ou les jardins potagers urbains	Augmentation absolue (n.) et relative (%) du nombre de plantes; augmentation absolue (m <sup>2</sup> ) et relative (%) de la superficie consacrée à zones vertes ou jardins potagers urbains
E5	Nombre de citoyens impliqués ; nombre d'espaces verts (publics ou privés) au sein du réseau	Augmentation absolue (n.) et relative (%) du nombre de citoyens concernés et des zones vertes relevant du réseau municipal
E6	Nombre de projets pilotes ; superficie (ha) des espaces verts mis en œuvre dans le cadre des projets pilotes ; investissements pour l'adaptation (Euros)	Augmentation des zones vertes urbaines e/ou des jardins potagers urbains
D1	Développement du projet	Base de données cartographiques
D2	Développement du projet	Base de données du recensement
D3	Nombre de systèmes de drainage durables	Superficie (ha) équipée de systèmes qui réduisent le ruissellement de surface
D4	Voies piétonnes drainantes	Superficie (ha) de voies piétonnes en béton drainant

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

D5	Déblaiement canaux	Résolution des problèmes hydrauliques posés par les canaux remblayés
D6	Nombre d'études de faisabilité	Superficie (ha) identifiée pour la mise en œuvre des interventions
D7	Projet d'intervention sur le réseau d'égouts	Réduction des mètres cubes envoyés à la station d'épuration

## Conclusions

Ce document présente une étude des éléments qui caractérisent le danger lié au changement climatique en raison du risque d'inondation urbaine pour la municipalité de Sassari. Cette étude, évaluée en tenant compte des éléments qui décrivent l'exposition et la capacité d'adaptation du territoire, a permis de définir les principaux objectifs d'adaptation afin de rendre le territoire plus résilient aux risques actuels et à ceux qui pourraient survenir dans les prochaines décennies en raison du changement climatique. Comme le décrit le document, l'analyse des anomalies attendues présente un certain nombre d'incertitudes qui remettent en question l'utilisation directe des valeurs absolues issues du processus de calcul, notamment en ce qui concerne les crues. Malgré cela, l'analyse des projections futures des indices pluvio-hydrométriques suggère une possible inadéquation des zones fluviales et, donc, des celles qui, à l'heure actuelle, ont été délimitées à différents niveaux de danger. Toutefois, cette hypothèse devrait être étudiée davantage, à l'aide d'outils détaillés appropriés, tels que des méthodes physiques de simulation de l'écoulement en chenal, afin d'évaluer correctement les caractéristiques du courant en termes non seulement de débit, mais aussi de vitesse.

Les criticités mises en évidence par l'analyse de la dangerosité et des éléments vulnérables – en considérant l'évaluation de la capacité d'adaptation de la commune de Sassari en matière de risque hydraulique – analysées selon les déterminants: connaissance et conscience, infrastructures, capacité institutionnelle et ressources économiques, ont rendu nécessaire l'identification d'une série d'actions visant à améliorer la résilience du territoire.

Les actions identifiées par la Municipalité comprises dans le Plan sont basées sur 5 objectifs principaux: (i) accroître et approfondir les connaissances par la formation et l'information ; (ii) améliorer la gouvernance ; (iii) améliorer le système de surveillance et d'alerte ; (iv) diffuser et appliquer les bonnes pratiques dans le domaine de l'écologisation urbaine et de la gestion de l'eau ; (v) promouvoir les interventions structurelles pour réduire le risque hydraulique.

Pour chaque objectif et domaine thématique on a ensuite identifié les actions, les responsables et le calendrier de leur mise en œuvre, les sources de financement possibles et enfin les indicateurs de suivi pour l'évaluation de la mise en œuvre et de l'efficacité.

Sur les 30 actions, 23 sont des actions *soft*, 4 vertes et 3 grises. Il est prévu de mettre en œuvre à court terme (d'ici 2021) 27 des 30 actions identifiées et seulement 3 après 2021. Les actions *soft*, qui nécessitent moins d'efforts en termes de ressources humaines et financières, sont plus faciles à mettre en œuvre à court terme. La plupart des actions vertes et grises identifiées disposent déjà de ressources dédiées et pour les autres, la municipalité identifiera les formes de financement les plus appropriées pour leur mise en œuvre dans le délai prévu.

Cependant, ce Plan doit être considéré comme un instrument dynamique qui devra être périodiquement mis à jour et intégré, tant en fonction des nouvelles connaissances disponibles que de l'efficacité démontrée par les mesures d'adaptation mises en œuvre, ainsi que des difficultés rencontrées par l'administration municipale dans la mise en place et la gestion des mesures prévues.

## Glossaire

**Adaptation:** le processus d'adaptation au climat actuel ou prévu et à ses effets. Dans les systèmes humains, l'adaptation vise à limiter ou à éviter les dommages et/ou à exploiter les opportunités favorables. Dans certains systèmes naturels, l'intervention humaine peut faciliter l'adaptation au climat prévu et à ses effets (GIEC 2014).

**Changement climatique:** changement de l'état du climat qui persiste sur une longue période, généralement des décennies ou plus, et qui peut être détecté (p. ex. à l'aide de tests statistiques) par des changements dans la moyenne et/ou la variabilité de ses propriétés. Le changement climatique peut être dus à des processus internes naturels ou à des facteurs d'influence extérieurs, tels que les modulations des cycles solaires, les éruptions volcaniques et les changements anthropogéniques persistants dans la composition de l'atmosphère ou l'utilisation des terres. La CCNUCC (Convention-Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique) définit le changement climatique comme: « un changement climatique directement ou indirectement attribuable à l'activité humaine, qui modifie la composition de l'atmosphère mondiale et qui accroît la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables ». La CCNUCC fait donc une distinction entre le changement climatique attribuable aux activités humaines qui modifient la composition de l'atmosphère et la variabilité du climat attribuable à des causes naturelles (GIEC 2013b).

**Capacité d'adaptation (aux impacts du changement climatique):** la capacité des systèmes, des institutions, des êtres humains et d'autres organismes à s'adapter aux dommages potentiels, à exploiter les opportunités ou à répondre aux conséquences (GIEC 2014).

**Catastrophe:** altération grave du fonctionnement normal d'une communauté ou d'une société à la suite d'événements physiques dangereux affectant des conditions sociales vulnérables, entraînant des conséquences néfastes généralisées sur les ressources humaines, matérielles, économiques ou environnementales qui nécessitent une intervention d'urgence immédiate pour répondre aux besoins humains essentiels et peuvent nécessiter un soutien extérieur pour le rétablissement (GIEC 2014).

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

**Exposition:** la présence de personnes, d'espèces ou d'écosystèmes, de fonctions environnementales, de services, de ressources, d'infrastructures, de fonctions économiques et sociales, de biens culturels dans des lieux qui pourraient être affectés négativement (GIEC 2014).

**Évènement météorologique extrême:** un évènement dont la survenance dans un certain endroit ou période de l'année est rare. Les définitions de ce mot varient, mais un événement est défini comme évènement météorologique extrême s'il est égal ou supérieur au 10<sup>ème</sup> ou 90<sup>ème</sup> percentile d'une fonction de densité de la probabilité estimée sur la base des observations. Les caractéristiques d'un évènement météorologique extrême peuvent varier donc d'un endroit à l'autre en termes absolus. Lorsqu'une tendance météorologique extrême persiste pendant une certaine période, par exemple une saison, elle peut être classée comme un évènement météorologique extrême, surtout si elle produit un évènement moyen ou un cumulé qui est lui-même extrême (par exemple, une sécheresse ou de fortes précipitations pendant une saison) (GIEC 2014).

**Forçage radiatif:** est une variation du flux d'énergie causée par un conducteur, calculée dans la tropopause ou dans les couches supérieures de l'atmosphère. Il est exprimé en  $\text{Wm}^{-2}$ . Dans le cinquième rapport du GIEC, dans les calculs du forçage radiatif provenant de mélanges de gaz à effet de serre et d'aérosols, les variables physiques, à l'exception de l'océan et de la glace de mer, peuvent répondre aux perturbations par des ajustements rapides. Le forçage qui en résulte est appelé Forçage Radiatif Effectif (FRE) (ERF - Effective Radiative Forcing). Ce changement reflète les progrès scientifiques réalisés par les rapports précédents et donne une meilleure indication de la réaction possible de la température à ces facteurs. Pour tous les conducteurs autres que le mélange de gaz à effet de serre et les aérosols, les ajustements rapides sont moins bien caractérisés et supposés être faibles, de sorte qu'un forçage radiatif traditionnel (GIEC 2013b) est utilisé.

**Impacts (du changement climatique):** effets sur les systèmes naturels et humains (p. ex. effets sur la vie, la santé, les écosystèmes, l'économie, la société, les services, les infrastructures, etc.) causés par des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes et par le changement climatique survenant au cours d'une période donnée et

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

vulnérabilité d'une société ou d'un système exposé au changement climatique. Les impacts sont également appelés conséquences et résultats de ces effets (GIEC 2014).

**Incertitude:** un état de connaissance incomplet dû à un manque d'information ou à un désaccord sur ce qui est connu ou connaissable. Il peut avoir de nombreuses sources, allant des erreurs quantifiables dans les données à des concepts ou une terminologie définis de manière ambiguë, ou à des projections hypothétiques du comportement humain. L'incertitude peut donc être représentée par des mesures quantitatives (par exemple, une fonction de densité de probabilité) ou des déclarations qualitatives (par exemple, reflétant le jugement d'un groupe d'experts) (GIEC 2014).

**Atténuation (des effets du changement climatique):** toute intervention humaine qui réduit les sources d'émission ou qui renforce et améliore les sources d'élimination des gaz à effet de serre (puits) (GIEC 2014).

**Modèle climatique:** représentation numérique du système climatique basée sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques de ses composants, leurs interactions et les processus de rétroaction, en tenant compte de certaines de ses propriétés connues. Le système climatique peut être représenté par des modèles de complexité différente ; c'est-à-dire que pour chaque composante ou combinaison de composantes, on peut identifier le spectre ou la hiérarchie des modèles, qui diffèrent par des aspects tels que le nombre de dimensions spatiales, la mesure dans laquelle les processus physiques, chimiques ou biologiques sont explicitement représentés, ou le niveau de paramétrisation empirique. Les modèles de circulation générale couplés atmosphère-océan (MCGA) fournissent une représentation du système climatique qui est proche du spectre actuellement disponible. Il y a une évolution vers des modèles plus complexes avec une chimie et une biologie interactives. Les modèles climatiques sont appliqués comme outils de recherche pour étudier et simuler le climat et à des fins opérationnelles, y compris les prévisions climatiques mensuelles, saisonnières et interannuelles.

**Dangerosité:** l'occurrence potentielle d'un événement physique ou d'un impact physique naturel ou d'origine humaine qui peut entraîner des pertes de vie, des blessures ou des effets sur la santé, ainsi que des dommages et des pertes aux biens, aux infrastructures,

aux moyens de subsistance, à la prestation de services, aux écosystèmes et aux ressources environnementales (GIEC 2014).

**Projections climatiques:** une projection climatique est la réponse simulée du système climatique à un scénario d'émissions ou de concentrations futures de gaz à effet de serre et d'aérosols, généralement établi à l'aide de modèles climatiques. Les projections climatiques sont différentes des prévisions climatiques en raison de leur dépendance à l'égard du scénario d'émission/concentration/forçage radiatif utilisé, qui à son tour est fondé sur des hypothèses concernant, par exemple, les futurs développements socio-économiques et technologiques qui peuvent ou non se réaliser (GIEC 2014).

**Voies de Concentration Représentatives (VCR):** scénarios qui comprennent des séries chronologiques d'émissions et de concentrations de la série complète de gaz à effet de serre et d'aérosols, d'aérosols et de gaz chimiquement actifs, ainsi que de l'utilisation des terres et de la couverture des sols. Le mot "représentative" signifie que chaque VCR ne fournit qu'un seul des nombreux scénarios possibles d'un agent de forçage radiatif spécifique. L'expression "voies" souligne que ce n'est pas seulement le niveau de concentration à long terme qui est important, mais aussi la trajectoire suivie pour atteindre ce résultat. Les VCR font généralement référence à la partie de la trajectoire de concentration qui se développe jusqu'en 2100, pour laquelle les modèles d'évaluation intégrée fournissent les scénarios d'émissions correspondants. Quatre VCR sont produits par les modèles d'évaluation intégrée et utilisés dans les projections du cinquième rapport du GIEC :

- RCP2.6: voie où le forçage radiatif atteint son sommet à environ 3 W m<sup>-2</sup> avant 2100 et diminue ensuite ;
- RCP4.5 et RCP6.0: deux voies de stabilisation intermédiaires où le forçage radiatif est stabilisé à environ 4,5 W m<sup>-2</sup> et 6,0 W m<sup>-2</sup> respectivement ;
- RCP8.5: une trajectoire haute où un forçage radiatif supérieur à 8,5 W m<sup>-2</sup> est atteint en 2100 et continue de s'élèver par la suite (GIEC 2014).

**Résilience:** capacité d'un système social, économique ou environnemental à faire face à un événement dangereux, ou à une anomalie, en réagissant et en se réorganisant de

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

manière à préserver ses fonctions essentielles, son identité et sa structure, tout en conservant la capacité de s'adapter, d'apprendre et de se transformer.

**Risque:** les conséquences potentielles lorsque quelque chose de valeur est en jeu et lorsque le résultat est incertain, en reconnaissant la diversité des valeurs. Le risque est souvent représenté comme la probabilité de la survenance d'événements ou de tendances dangereuses multipliée par les impacts qui se produiraient si ces événements ou tendances se produisaient. Le risque découle de l'interaction entre la vulnérabilité, l'exposition et le danger (GIEC 2014).

**Risque de catastrophe/réduction du risque de catastrophes:** le risque de catastrophe indique la probabilité d'une catastrophe dans une période de temps donnée (voir catastrophe). Le concept de réduction des risques de catastrophe indique un processus visant à concevoir, mettre en œuvre et évaluer des stratégies, des politiques et des mesures pour améliorer la connaissance des risques de catastrophe, promouvoir la réduction du risque, transférer et favoriser l'amélioration continue des pratiques de préparation et de réponse aux risques et de rétablissement, dans le but explicite d'accroître la sécurité, le bien-être, la qualité de vie et le développement durable des populations (GIEC 2014).

**Scénarios climatiques:** une représentation plausible et souvent simplifiée du climat futur, basée sur un ensemble cohérent de relations climatologiques qui a été construit pour l'usage explicite de l'étude des conséquences possibles du changement climatique anthropique, souvent utilisé comme entrée pour les modèles d'impact. Les projections climatiques servent souvent de matériau de base pour l'élaboration de scénarios climatiques, mais les scénarios climatiques nécessitent généralement des informations supplémentaires, telles que le climat actuel observé. Un scénario de changement climatique est la différence entre un scénario climatique et le climat actuel (GIEC 2013b).

**Sensibilité:** degré auquel un système ou une espèce est affecté, négativement ou positivement, par la variabilité et le changement climatique. L'effet peut être direct (par exemple, une modification du rendement des cultures en réponse à un changement de température) ou indirect (par exemple, les dommages causés par une augmentation de

la fréquence des inondations côtières en raison de l'élévation du niveau de la mer) (GIEC 2014).

**Services écosystémiques:** processus ou fonctions écologiques ayant une valeur (monétaire ou non monétaire) pour les individus ou la société en général. Ils sont fréquemment classés comme : (i) les services d'appui, tels que la productivité ou le maintien de la biodiversité ; (ii) les services d'approvisionnement ou d'achat, tels que les aliments, les fibres, le poisson ; (iii) les services de régulation, tels que la régulation du climat et la séquestration ou le stockage du carbone ; et (iv) les services culturels, tels que le tourisme ou l'enrichissement spirituel et esthétique (GIEC 2014).

**Système climatique:** système très complexe composé de cinq éléments principaux : l'atmosphère, l'hydroosphère, la cryosphère, la lithosphère, la biosphère et les interactions entre elles. Le système climatique évolue au fil du temps sous l'influence de sa propre dynamique interne, à la suite de facteurs d'influence, tels que les éruptions volcaniques et la variabilité solaire et de forçant anthropogéniques, tels que le changement de la composition atmosphérique et de l'utilisation des terres (GIEC 2014).

**Système d'alerte rapide (Early Warning System):** l'ensemble des capacités nécessaires pour produire et diffuser des informations d'alerte opportunes et significatives afin de permettre aux individus, aux communautés et aux organisations à risque de se préparer à une action rapide et appropriée pour réduire la possibilité de dommages ou de pertes (GIEC 2014).

**Développement durable:** développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leurs propres besoins [CMED,1987] (GIEC 2014).

**Scénarios d'émission:** une représentation plausible de l'évolution future des émissions de substances potentiellement radioactives (par exemple, les gaz à effet de serre et les aérosols), basée sur un ensemble cohérent d'hypothèses sur les forces motrices (telles que l'évolution technologique, le développement démographique et socio-économique) et leurs relations fondamentales. Les scénarios de concentration, dérivés des scénarios d'émission, sont utilisés comme données d'entrée pour les modèles climatiques afin de calculer les projections climatiques. Dans le rapport spécial du GIEC sur les scénarios

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

d'émission, les scénarios d'émission du SRES (par exemple A1B, A1FI, A2, B1, B2) utilisés comme base pour certaines projections climatiques ont été publiés.

De nouveaux scénarios d'émissions pour le changement climatique ont été élaborés et constituent les 4 voies de concentration représentatives (VCR) présentées dans le cinquième rapport du GIEC (GIEC 2014).

**Variabilité climatique:** se réfère aux variations de l'état moyen et d'autres statistiques (telles que les écarts types, l'occurrence d'événements extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles spatiales et temporelles au-delà de celles des événements météorologiques individuels. La variabilité peut être due à des processus naturels au sein du système climatique (variabilité interne), ou à des variations de facteurs d'influence, extérieurs ou anthropogéniques (variabilité extérieure) (GIEC 2014).

**Vulnérabilité:** la propension ou la prédisposition des éléments exposés à être affectés négativement. Le terme comprend une variété de concepts et d'éléments, y compris la sensibilité ou la susceptibilité aux dommages et le manque de capacité à faire face et à s'adapter (GIEC 2014).

## Bibliographie

ADAPT (2018). *Linee guida per lo sviluppo di profili climatici locali.*

ADAPT (2018). *Profilo climatico locale per il Comune di Sassari .*

ADAPT (2018). *Linee guida per la redazione di piani d'adattamento al rischio inondazioni.*

Brath, A., Castellarin, A., Montanari, A. (2003). "Assessing the reliability of regional depth-duration-frequency equations for gaged and ungaged sites". *Water Resources Research* 39(12), pp. 1367-1379.

Cannon, A. J., Sobie, S. R., Murdock, T. Q. (2015). "Bias correction of GCM precipitation by quantile mapping: how well do methods preserve changes in quantiles and extrêmes?" *Journal of Climatology* 28(17), pp. 6938-6959.

Cao, C., Piga, E., Salis, M., Sechi, G.M. (1991). *Évaluation delle crues in Sardegna.* Rapporto Regionale Sardegna, CNR-GNDI, LINEA 1, Istituto di Idraulica, Università di Cagliari.

Castellari, S., Venturini, S., Ballarin Denti, A., Bigano, A., Bindi, M., Bosello, F., et al. (a cura di) (2014). *Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia.* MATTM-Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma.

CNR-IRPI (2018). *Rapporto Periodico sul Rischio posto alla Popolazione Italiana da Frane e Inondazioni.* Primo semestre 2018.

Drobinski, P., Silva, N.D., Panthou, G. et al. (2018). "Scaling precipitation extrêmes with temperature in the Mediterranean: past climat assessment and projection in anthropogenic scenarios". *Climat Dynamics*, 51(3), pp. 1237-1257.

Jacob, D, Petersen, J, Eggert, B, et al. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climat change projections for European impact research. *Regional Environmental Change* 14(2), pp. 563–578.

Kotlarski S, Keuler K, Christensen OB, et al. (2014). Regional climat modeling on European scales: A joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble. *Geoscientific Model Development* 7(4), pp. 1297-1333.

IPCC (2013a). Summary for Policymakers. In: Stocker TF, D. Qin, G.-K. Plattner, et al. (eds.) *Climat Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climat Change*. Cambridge University Press, Cambridge (United Kingdom) and New York (NY, USA), pp. 1–30.

IPCC (2013b). Annex III: Glossary [Planton, S. (ed.)]. In: Climat Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climat Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2014). Annex II: Glossary [Agard, J., E.L.F. Schipper, J. Birkmann, M. Campos, C. Dubeux, Y. Nojiri, L. Olsson, B. Osman-Elasha, M. Pelling, M.J. Prather, M.G. Rivera-Ferre, O.C. Ruppel, A. Sallenger, K.R. Smith, A.L. St. Clair, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, and . In: Barros VR, Field CB, Dokken DJ, et al. (eds) *Climat Change 2014: , Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climat Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp 1757–1776.

MATTM (2017). *PNACC - Piano Nazionale d'Adattamento al Cambiamento Climatico*. Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territoire e del Mare. Documenti in fase di consultazione, disponibili all'indirizzo: <https://www.minambiente.it/pagina/consultazione-su-piano-nazionale-adattamento-cambiamenti-climatici> (consultato online il 18 marzo 2019)

MATMM (2014). *SNAC – Strategia Nazionale d'adaptation au changement climatique*. Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territoire e del Mare.

Marchi, L., Borga, M., Preciso, E., Gaume, E. (2010). Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *Journal of Hydrology*, 394(1–2), pp. 118-133.

Pilgrim, D. H., Cordery, I. (1993). Flood Runoff. In Maidment, D. R. (ed.), *HandBook of Hydrology*, McGraw-Hill Companies.

Regione Sardegna(2000). *Attività di individuazione e di perimetrazione delle zone a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia – Linee Guida*. Regione autonoma della Sardegna, Assessorato ai Lavori Pubblici.

Regione Sardegna (2012). *Studi, indagini, elaborazioni attinenti all'ingegneria integrata, necessari alla redazione dello studio denominato Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF). Relazione monografica di Bacino Idrografico: Riu Mannu di Porto Torres.* Region Autonoma della Sardegna.

Santini, M., Valentini, R. (2011) "Predicting Hot-Spots of Land Use Changes in Italy by Ensemble Forecasting". *Regional Environmental Change*, 11(3), pp. 483–502.

Trigila, A., Iadanza, C., Bussettini, M., Lastoria, B. (2018). *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio - Edizione 2018.* ISPRA, Rapporti 287/2018.

WMO (2007). *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate.* WCDMP-No. 61, WMO.TD No. 1377.

Viglione, A., Laio, F., Claps, P. (2007). A comparison of homogeneity tests for regional frequency analysis. *Water Resources Research* 43(3), W03428.

Viglione, A., Blöschl, G. (2009). On the role of storm duration in the mapping of rainfall to flood return periods. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(2), pp. 205-216.

Zelenhasić, E., Salvai, A. (1987) "A method of streamflow drought analysis". *Water Resources Research* 23(1), pp. 156-168.

## Annexe A

# Cadre territorial du réseau hydrographique en cause

On trouvera ci-dessous une description du réseau hydrographique situé dans la zone d'intérêt, extraite des rapports monographiques sur le système hydrographique “Minori tra il Mannu di Porto Torres e il Temo” et le système hydrographique “Riu Mannu di Porto Torres” (Région Sardaigne, 2012).

### **Système Hydrographique “Astimini”**

Le seul cours d'eau principal du bassin est le Riu Astimini (autrement dit « Fiume Santo », comme la cartographie IGM l'indique dans la dernière section), dans la section entre la localité Giubeddi, à environ 150 m en amont du viaduc de la Route Provinciale 57, et l'embouchure dans le golfe de l'Asinara. Situé sur les reliefs rocheux au nord d'Argentiera, il draine une partie du secteur nord de la plaine de la Nurra, se jette dans un fond de vallée alluviale où il présente une tendance modérée aux méandres et se jette finalement dans le golfe de l'Asinara à proximité immédiate de la centrale thermique de Fiume Santo, circa 8 km ad Ovest del centro di Porto Torres. à environ 8 km à l'ouest du centre de Porto Torres. Le lit actif du fleuve a une section modeste qui est parfois envahie par le maquis méditerranéen.

La branche du fleuve a été soumise à une analyse hydraulique géomorphologique visant à identifier les zones fluviales correspondant aux périodes de retour  $T$  égales à 2, 50, 100, 200 et 500 ans, pour une longueur de la section d'analyse d'environ 2,8 km.

La section soumise à l'analyse hydraulique se trouve entre le viaduc Route Provinciale 57 et l'embouchure dans la mer, pour une longueur totale d'environ 2,6 km et une pente moyenne de 0,2% ; le lit du fleuve est à lit unique, avec un développement assez sinueux, des sections assez étroites et une couverture végétale élevée, surtout dans la

dernière section avant l'embouchure. Le seul ouvrage de défense hydraulique présent est à gauche, près de l'embouchure, pour protéger la centrale thermique. Le lit mineur a une capacité d'écoulement inférieure au débit avec  $T = 2$  ans, ce qui provoque par conséquent des inondations sur les deux rives. Les vitesses moyennes sont comprises entre 0,7 m/s et 1,5 m/s pour  $T = 2$  ans et  $T = 500$  ans respectivement. Entre les deux passages routiers présents, le premier est le pont en arc sur l'ancienne route Route Provinciale 57, ce qui est nettement insuffisant par rapport au franc hydraulique et provoque un effet de remous important en amont. Le deuxième ouvrage est un pont à treillis sur une route vicinale qui a un franc suffisant pour tous les flux analysés. La dernière section du Riu d'Astimini à l'étude est caractérisée par un lit d'extension modeste, qui s'écoule dans une vallée alluviale relativement large, décrivant une série de grands méandres encaissés, dépourvus de bâtiments. Dans ce contexte, les bandes sont imposées par la base des remblais des plateaux en terrasse qui délimitent le fond de la vallée alluviale et elles coïncident donc pour tous les temps de retour les plus lourds avec des largeurs comprises entre 100 et 300 m environ.

En correspondance avec le tronçon final, sur la rive gauche, toutes les bandes sont adossées aux travaux de défense du talus sur lequel sont construites les installations industrielles d'Enichem et la centrale de Fiume Santo, qui ne sont pas directement touchées puisqu'elles sont situées au niveau de la sécurité.

### **Système Hydrographique “Riu Mannu di Porto Torres”**

Deux cours d'eau principaux font partie du système hydrographique : le Riu Mannu et le Riu Ottava.

Le Riu Mannu de Porto Torres jaillit d'un large bassin situé juste à l'ouest de la ville de Thiesi. C'est une zone en pente douce entourée de reliefs volcaniques qui atteignent une altitude de 500 m avec des sommets de plus de 700 m (Mont Pelao). L'area di testata è sottesa dalla diga di Bidighinzu che forma l'omonimo lago artificiale. La zone du promontoire est sous-tendue par le barrage de Bidighinzu qui forme le lac artificiel du même nom. Le Riu Ottava, en revanche, s'élève sur les collines à quelques kilomètres au nord-est de Sassari, dans une zone également profondément façonnée par

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

l'approfondissement progressif du réseau hydrographique secondaire. La pente de la tige fluviale du Riu Mannu de Porto Torres, après le court tronçon torrentiel initial immédiatement en aval du barrage de Bidighinzu où l'on trouve des valeurs de 1-2%, descend progressivement jusqu'à environ 0,2% près de la confluence du Riu Mascari pour se stabiliser à 0,1% près du secteur entre l'entrée du Riu Ertas et l'embouchure. Sur le Riu Ottava, on passe de pentes de 1%, dans la zone de Sassari, à 0,5% dans la section intermédiaire de l'étude, pour terminer avec des valeurs autour de 0,2-0,3% dans le secteur terminal, près de la confluence dans le Mannu de Porto Torres.

Le Riu Mannu de Porto Torres et le Riu Ottava coulent principalement à l'intérieur de lits de rivières sinuuses, creusées dans des dépôts alluviaux au fond de la vallée. La section transversale est généralement trapézoïdale, avec un lit mineur bordé de pentes abruptes, généralement recouvert de végétation herbacée, principalement des roseaux domestiques avec des arbres ou des buissons isolés. On pense que cette conformation est probablement le résultat, au moins partiellement, d'interventions passées de remodelage et de nettoyage du lit de la rivière. Seul le tronçon initial du Mannu de Porto Torres constitue une exception, où le lit du fleuve assume une morphologie caractérisée par un plus grand degré de naturalité et plus semblable à celle des cours d'eau de montagne.

L'analyse des données du PAI et les levés topographiques sur le terrain ont permis d'identifier les principaux ouvrages hydrauliques, dont: sur le Mannu de Porto Torres, un remblai, une bride, 3 défenses longitudinales des berges, un ouvrage de prise d'eau non réglementée, un mur de remblai, une traverse ; sur le Riu Ottava 2 remblais, une bride, 3 canaux artificiels, 3 défenses longitudinales des berges, un mur de remblai et une traverse. Les leviers effectués montrent que le tracé actuel des cours d'eau examinés est influencé par le réservoir de Bidighinzu et par les travaux de régulation réalisés dans les tronçons d'embouchure qui, en particulier pour le Riu Mannu, sont surtout fonctionnels pour la défense des infrastructures routières et des zones industrielles. Voici une analyse sommaire des caractéristiques des principaux cours d'eau du système.

### *Riu Mannu di Porto Torres*

Le tronçon du Riu Mannu de Porto Torres soumis à l'évaluation des risques hydrauliques se situe entre le barrage de Bidighinzu et l'embouchure sur la mer, pour une longueur totale d'environ 59 km.

Le premier tronçon du cours d'eau est appelé Riu Bidighinzu et s'écoule dans une vallée encaissée avec une forte densité de végétation près du lit de la rivière. Après environ 10 km, la vallée s'élargit et des cultures apparaissent à la fois sur les pentes et au fond de la vallée, qui est encore limitée en largeur. Le cours d'eau coule en direction nord-ouest avec un parcours sinueux dans le territoire entre les villages d'Usini et Uri, jusqu'à la hauteur du pont sur la Route Nationale 291, près de Bancali. De ce point jusqu'au centre habité de Porto Torres, le fond de la vallée s'élargit encore et devient entièrement couvert par les cultures agricoles jusqu'aux rives ; une végétation naturelle dense subsiste le long du lit du fleuve. A circa 4 km dalla foce vi è la confluenza del riu Ottava, che costituisce l'affluente principale. Dans les 2 derniers kilomètres, le cours d'eau sépare la zone industrielle de Porto Torres, sur la rive gauche, de la zone résidentielle, sur la rive droite. Sur la rive droite, il y a un remblai, d'abord constitué d'un mur, sur environ 500 m, puis sur terre, d'une hauteur moyenne d'environ 2 m. Le long de la section analysée, il y a 22 ponts routiers, 2 ponts ferroviaires, 2 ponts sur canaux, 4 ponts sur tuyaux et 4 gués carrossables.

Les sections homogènes suivantes peuvent être identifiées:

- le tronçon de montagne, qui va du barrage de Bidighinzu au P.te Route Provinciale 41bis ;
- la partie moyenne de la vallée, jusqu'au pont ferroviaire à Fermata San Giorgio ;
- la partie de la vallée, entre le pont ferroviaire de Fermata San Giorgio et l'embouchure.

La branche du fleuve dans la partie montagneuse, d'environ 7 km, est caractérisé par une pente de fond importante (2,1%), une vitesse élevée et un lit mineur fortement végétalisé. Les niveaux d'eau moyens varient entre 2 m et 4 m selon les débits, tandis que les vitesses moyennes vont de 2 m/s à des valeurs supérieures à 3 m/s. Les ouvrages de franchissement routier présents ne disposent pas de francs hydrauliques

suffisants ; en particulier le pont de la Route Provinciale 41bis, provoque un effet de remous important en fin de section. La morphologie d'un cours d'eau de montagne avec une vallée en forme de "V" et l'absence de zones alluviales inondables imposent des bandes de débordement sinuées et homogènes pour les temps de retour les plus lourds. Dans ce contexte, les bandes ont des amplitudes variables entre 30 m des sections amont et 150 m des secteurs plus grands ; l'exception est le secteur en amont d'Usini (environ 6 km de long), où l'on trouve un fond de vallée plus large et une section relativement large et peu incisée, avec des amplitudes atteignant 300-400 m. Tout au long de la section en question, seules les terres cultivées, les établissements agricoles et quelques maisons dispersées sont touchés par les bandes.

La partie moyenne de la vallée se trouve entre le pont sur la Route Provinciale 41bis et le pont ferroviaire de la ligne Sassari-Alghero, à la Fermata San Giorgio ; il s'étend dans une première partie dans une vallée large et cultivée, puis dans une gorge très étroite. Il est long d'environ 23,5 km et a une pente moyenne de 0,57 %. Dans la première partie, les inondations commencent avec un temps de retour de 50 ans, donnant lieu à un lit de crue d'une largeur moyenne d'environ 160 m et des niveaux d'eau d'environ 4 m ; dans la partie la plus en aval, à l'intérieur du ravin, la largeur est réduite à environ 100 m, avec des niveaux moyens supérieurs à 7 m pour les débits les plus importants, avec des valeurs ponctuelles proches de 10 m. Les vitesses moyennes du courant sont d'environ 2 m/s dans la partie amont et de 3 m/s dans la partie aval. Entre les croisements présents sur le tronçon (pont routier et pont de canalisation à Badde Lunis ; pont Route Provinciale 28 ; canal-pont ; pont Route Nationale 127 ; pont ferroviaire à Fermata San Giorgio), uniquement le pont Route Nationale 127 est hydrauliquement insuffisant par rapport au franc. La morphologie du lit de la rivière, délimitée par des escarpements abrupts creusés dans les dépôts alluviaux du fond de la vallée, définit un parcours des bandes nettement plus irrégulier par rapport au tronçon précédent, bien que les différences entre les différents temps de retour soient encore peu appréciables. La largeur des secteurs touchés par l'inondation se situe entre 60 m du tronc initial et 400-500 m des secteurs plus larges, principalement situés au confluent de cours d'eau secondaires ou mineurs. Sur toute la longueur du tronçon, seules les terres agricoles

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

exemptes de grands établissements et certains éléments du réseau routier secondaire sont compris dans la zone inondable.

Le tronçon de la vallée va du pont ferroviaire de Fermata San Giorgio à l'embouchure, sur environ 28 km, avec une pente moyenne de 0,14%. Le cours d'eau s'écoule pour un premier tronçon encore dans une vallée étroite et encaissée et entre ensuite dans un fond de vallée cultivé plus large ; en aval du confluent du Riu Ottava, le lit du fleuve traverse le village de Porto Torres et se jette dans le golfe de l'Asinara. Près de ce dernier tronc, le lit de la rivière est remblayé sur la rive droite sur environ 2 km. Ces travaux sont insuffisants pour contenir le débit avec un temps de retour de 50 ans, avec pour conséquence l'inondation des zones situées derrière et de la ligne de chemin de fer. Dans la première partie du tronçon, qui s'étend dans la partie incisée du fond de la vallée, la largeur moyenne de la section d'inondation est de l'ordre de 150 m et les niveaux d'eau sont compris entre 2 et 3 m. Più a valle la larghezza aumenta, con variazione tra 100 m e 200 m per il tempo di ritorno che passa da 2 anni a 500 anni e con valori massimi puntuali che raggiungono i 400 m; les niveaux d'eau ont des valeurs supérieures à 8 m pour les débits les plus importants. Les vitesses moyennes sont proches de 1,5 m/s, avec une plage de variation entre moins de 1 m/s, en présence de phénomènes de remous, et 4 m/s. Parmi les nombreux ouvrages de franchissement présents, le pont Route Nationale 291, les ponts routiers et ferroviaires de Porto Torres, le pont Route Nationale 131 et le pont de la SP 34 disposent de francs hydrauliques suffisants ou sont en tout cas dans un état qui ne perturbe pas de manière significative l'écoulement des crues; par contre, les ponts de la Route Provinciale 18, de la Route Provinciale La Crucca, le pont Romain à Porto Torres et le pont sur la voie d'accès en localité Maccia Appaltada sont plus ou moins inadéquats. Le tronçon en question est caractérisé par la traversée de Porto Torres, où, en correspondance de l'agglomération, il y a un remblai sur la rive droite d'environ 2 km de long, placé pour protéger la ligne ferroviaire Chilivani - Porto Torres, la gare et quelques bâtiments derrière celle-ci. Le remblai s'est avéré insuffisant pour contenir la capacité avec un temps de retour de 50 ans. En amont de l'agglomération, en particulier en amont du passage de la Route Provinciale 34, les zones inondables ont une largeur de 400 à 500 m et touchent, en

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

plus des terres agricoles, plusieurs éléments du réseau routier secondaire et une longue section du chemin de fer. De plus, le remblai de la route provinciale et la présence d'un confluent sur la droite un peu en amont déterminent un élargissement considérable des zones inondables en amont de la route provinciale, qui atteignent Andriolu. En aval de la route provinciale, également en raison de la présence de trois autres passages à niveau (deux passages à niveau routiers et un passage à niveau ferroviaire qui, avec leurs rampes d'accès, influencent de manière décisive la forme des zones inondables), l'inondation touche toute la zone de la gare et certains bâtiments situés derrière elle et, grâce à la brèche créée par le couloir ferroviaire vers le port, elle se poursuit jusqu'au faisceau de voies sur le quai. À gauche, par contre, différents bâtiments situés à proximité de ce groupe de passages à niveau sont touchés.

#### *Riu Ottava*

Le tronçon du Riu Ottava soumis à l'évaluation des dangers hydrauliques commence juste avant le franchissement du Route Nationale 200 au nord de la ville de Sassari et s'écoule en direction du nord-ouest jusqu'à la confluence avec le Riu Mannu de Porto Torres, pour une longueur totale d'environ 19 km.

Le premier tronçon du cours d'eau coule au nord de la ville de Sassari dans un fond de vallée bordé de pentes raides, entièrement cultivé, principalement avec des vergers. Près du fleuve, il y a plusieurs établissements de type résidentiel et des activités liées au secteur primaire ; puis, après environ 4 km, les zones deviennent des terres arables à cycle annuel, avec des étendues où la végétation arbustive et arboricole est encore abondante près du lit mineur du fleuve. La ligne ferroviaire Chilivani-Porto Torres est presque parallèle à la branche du fleuve, qui traverse le cours d'eau à Spina Santa. Près de la confluence avec le Riu Mannu de Porto Torres, la section du lit du fleuve est artificielle, de forme trapézoïdale avec un revêtement de gabions recouvert d'une végétation abondante ; la rive gauche est remblayée sur environ 1 km ; il y a également un remblai sur la rive droite pour un tronçon plus petit. Le long du tronçon, il y a 10 passages à niveau routiers, deux passages à niveau ferroviaires, un pont de tuyaux et

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

un très grand nombre d'ouvrages mineurs qui constituent des voies d'accès aux maisons et aux champs cultivés.

- Les sections homogènes suivantes peuvent être identifiées:
- la partie moyenne de la vallée, qui va du village de Logulentu au pont de la Route Provinciale 60 Lattedoloi-Buddi;
- la partie de la vallée, qui se développe jusqu'au pont tubulaire dans la localité de Monte Ruina;
- la section du confluent, qui va jusqu'au confluent avec le Riu Mannu à Porto Torres.

La longueur moyenne de la vallée est d'environ 4 km, avec une pente moyenne de 1% et une végétation abondante dans la zone fluviale; elle coule dans un fond de vallée légèrement incisé au nord de la ville de Sassari. Les niveaux d'eau moyens varient d'environ 1,5 m par T = 2 ans à environ 4 m pour les temps de retour les plus élevés ; de même, la vitesse moyenne du courant passe de 1,4 m/s à des valeurs proches de 3 m/s. Parmi les passages à niveau présents, ceux de la ligne ferroviaire Sassari-Sorso et Route Provinciale 60 sont adéquats pour tous les débits simulés ; en revanche, le pont sur le Route Nationale 200 est fortement inadéquat – ce qui implique des phénomènes de remous importants – ainsi que le pont sur la Route Provinciale 60 ; les autres passages à niveau sont encore insuffisants par rapport aux routes ou aux accès à la propriété privée qui se trouvent à proximité. Les champs d'inondation du tronçon en question s'étendent sur un fond de vallée peu incisé, avec un cours assez régulier et homogène et des largeurs comprises entre 100 et 250 m, affectant généralement les zones cultivées adjacentes au lit du fleuve et certains des établissements résidentiels ou productifs dispersés présents dans la zone inondable. Significativa risulta l'influenza sulle aree allagabili dei ponti della Route Provinciale 60 e della Route Nationale 200 dove, nei tratti immediatamente a monte degli stessi si verifica l'interessamento di diverse habitations. L'influence des ponts sur la Route Provinciale 60 et la Route Nationale 200 sur les zones inondables est importante, étant donné que sur les tronçons situés immédiatement en amont de ces zones il y a plusieurs logements.

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

La section de la vallée se trouve entre le pont de la Route Provinciale 60 et le pont tubulaire dans la localité de Monte Ruina, en aval duquel commence une branche canalisée et remblayée sur la gauche ; elle est long d'environ 14 km et a une pente moyenne de 0,63% et la largeur moyenne du lit mineur est d'environ 8 m. Des étendues à végétation dense s'alternent à d'autres parties où la végétation est presque absente. La capacité d'écoulement du lit mineur est dans de nombreux cas inférieure au débit avec un temps de retour de 2 ans ; l'amplitude moyenne des crues dans le cas de débits plus élevés est d'un peu moins de 100 m, avec des niveaux d'eau moyens d'environ 4 m; la vitesse moyenne du courant a des valeurs d'environ 2,5 m/s, qui peuvent varier entre 0,3 m/s et 5 m/s. Les principaux passages à niveau présents, de la Route Nationale 131, de la Route Provinciale 56 et le pont ferroviaire de la ligne Chilivani-Porto Torres, sont insuffisants et provoquent des phénomènes de remous importants; tous les autres passages à niveau de moindre importance sont également insuffisants. Les bandes de ce tronçon ont des limites généralement homogènes et régulières car elles sont bien définies par des escarpements abrupts, avec une sinuosité plus importante par rapport au tronçon en amont et avec des extensions locales, de faible extension, plus limitées aux secteurs de confluence des éléments du réseau hydrographique mineur. La largeur des zones inondables reste comprise entre 100 et 250 m ; elle comprend des terres cultivées et d'habitations dispersées, comme dans le secteur situé immédiatement en aval du confluent du Riu de S. Orsola dans la localité de Strada Vicinale San Quirico. Un peu en amont, également la zone de la pépinière forestière entièrement comprise avec les différents bâtiments de service se trouve sur la zone inondable. Les autres croisements présents le long du tronçon ne provoquent pas d'élargissement significatif des bandes car la morphologie du territoire impose des amplitudes presque constantes; les importants phénomènes de remous des ponts de la Route Nationale 131, de la Route Provinciale 56 et le pont de la ligne ferroviaire Chilivani - Porto Torres entraînent un relèvement important des niveaux. Cependant, aucune maison n'est touchée dans ces secteurs.

Le tronçon de la confluence s'étend entre le pont-tuyau de Monte Ruina et la confluence avec le riu Mannu de Porto Torres, sur une longueur de 1,2 km sans presque aucune

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

pente, dans un fond de vallée cultivé et sans agglomérations. En aval du pont-tube, sur près de 1 km de long, la section du lit du fleuve est artificielle, de forme trapézoïdale et revêtue de gabions, partiellement recouverte de végétation ; sur la rive gauche, il y a un remblai en gabions, d'une hauteur moyenne d'environ 2 m par rapport à la surface du sol. Le remblai est capable de contenir le débit avec un temps de retour de 2 ans ; la stessa portata provoca l'inondation della zona limitrofa al ponte-tubo con estensione trasversale di circa 60 m e niveaux idrici superiori a 3 m. le même débit provoque l'inondation de la zone adjacente au pont tubulaire avec une extension transversale d'environ 60 m et des niveaux d'eau supérieurs à 3 m. Pour des temps de retour plus longs, la crue affecte également, sur la rive gauche, les zones cultivées en dehors du talus, pour des largeurs variant entre 100 m et 300 m et avec des niveaux moyens d'environ 4 m, qui atteignent ponctuellement 8 m pour les débits les plus élevés. Les vitesses moyennes sont normalement inférieures à 1 m/s entre le pont tubulaire et la route municipale, tandis que vers la confluence, elles tendent à atteindre des valeurs supérieures à 2 m/s. Les passages actuels (pont-tuyau ; pont de Pizzinnu ; pont de la voie d'accès) sont inadéquats pour les débits moyennement élevés simulés et provoquent parfois des phénomènes de remous importants. Le tronçon proche de la confluence, contrairement aux tronçons amont, est caractérisé par la présence d'une canalisation à section trapézoïdale en gabions complétée par des remblais (étendus sur tout le tronçon en rive gauche et seulement au pont de la route communale Ponte Pizzinnu à droite) qui se sont avérés être inadéquats pour des crues avec un temps de retour de plus de 2 ans. Par conséquent, pour les inondations ayant le temps de retour le plus long, les inondations s'étendent à tout le fond de la vallée, affectant de grandes surfaces cultivées, avec des largeurs variant entre 100 m et 300 m ; aucune maison n'est touchée.

### **Considérations finales sur les zones fluviales**

La conformation géomorphologique particulière du bassin du Riu Mannu de Porto Torres fait que le réseau hydrographique s'étend presque entièrement sur le fond de la vallée, creusée dans un plateau en terrasses légèrement ondulé, d'où émergent, vers les zones

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

de promontoire, des reliefs collinaires de moyenne altitude. Il s'agit donc d'une zone, dans un certain sens, "intrinsèquement" sûre du point de vue hydraulique ; en effet, tous les principaux établissements ont été construits sur les terrasses ou sur les reliefs montagneux, également parce que les fonds des vallées sont pour la plupart enfoncés et à l'origine, surtout vers l'embouchure, ils étaient marécageux et ne sont devenus cultivables qu'à la suite de travaux de bonification. Dans ce contexte, même sur la grille secondaire, si l'on exclut un certain nombre de villas et de bâtiments ruraux isolés, les seules zones à risque sont liées aux extensions de bâtiments modernes qui, surtout dans la zone de Sassari, ont fini par occuper, quoique de façon marginale, certaines parties du fond de la vallée. La principale criticité est donc liée au Rio Sant'Orsola, seul cours d'eau d'une certaine importance qui traverse Sassari, dont le fond de la vallée a été partiellement occupé par des copropriétés, des zones commerciales et des hangars industriels et/ou artisanaux. Il est nécessaire de répéter qu'il s'agit de zones très limitées, dans lesquelles, cependant, le danger d'inondation a été augmenté par le fait que là où le fond de la vallée alluviale a été urbanisé, le lit du ru a également été enterré en même temps. A cet égard, il convient de noter que le type d'analyse effectué fournit une indication générique, basée sur des éléments géomorphologiques, souvent partiellement masqués dans les zones construites par l'intervention humaine, et ne peut donc pas, de par sa nature même, prendre en compte l'efficacité réelle des ouvrages hydrauliques. En outre, en cas de doute, conformément aux pratiques établies dans ce type d'ouvrages, on a été décidé de tracer les bandes qui peuvent garantir une marge de sécurité raisonnable. Il convient toutefois d'ajouter qu'il était opportun d'éviter l'expansion urbaine dans l'un des très rares secteurs du territoire entourant Sassari qui n'est pas totalement sûr du point de vue du risque hydrogéologique. En plus du Rio Sant'Orsola, des zones localisées à risque ont été identifiées sur le Rio Mascari où, toujours près de Sassari, deux établissements industriels ont été construits dans le fond de la vallée alluviale et sur le fleuve 128, un petit ru près de Porto Torres qui, en raison d'une erreur évidente dans la construction d'un remblai en cas d'événements extrêmes, pourrait inonder et/ou endommager le remblai de la ligne ferroviaire Sassari-Porto Torres.

## Annexe B

# Analyse de l'incidence du changement climatique sur la dangerosité locale

Dans le paragraphe suivant, les principales informations pour l'évaluation des changements possibles dans le régime des inondations induites par le changement climatique seront expliquées. A cette fin, la discussion est divisée en quatre points:

1. cadre conceptuel;
2. analyse et intégration du Profil Climatique Local;
3. analyse des données mises à disposition par la Plateforme C3S (*Copernicus Climate Change Service*) ;
4. synthèse des résultats.

### Cadre conceptuel

Les preuves de l'impact du changement climatique sur le régime des précipitations dans la région ne sont pas suffisantes en soi pour tirer des conclusions sur l'impact du changement climatique sur le régime des crues. En ce sens, il convient en effet de rappeler que la gravité et la fréquence des phénomènes d'inondation sont fonction, outre du régime des précipitations, des caractéristiques de la couverture et de l'utilisation (et donc de l'entretien) des terres. Les variations prévues dans ces dernières au cours des prochaines décennies pourraient à leur tour être profondément influencées par les changements climatiques attendus (Santini & Valentini, 2000). En ce qui concerne le seul forçage atmosphérique, il est utile de rappeler que l'approche actuellement utilisée pour décrire le régime des précipitations est la méthode dite de l'"indice de pluie" (Brath et al., 2003), selon laquelle l'intensité (c'est-à-dire la hauteur) de pluie caractérisée par

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

un certain temps de retour  $T$  et rapportée à une durée spécifique de l'événement pluvieux  $d$  peut être exprimée comme le produit d'un paramètre d'échelle  $\mu$ , fonction uniquement de la durée de la pluie, et d'un facteur de croissance  $k_T$ , fonction uniquement de la période de retour:

$$I(d, T) = \mu[I(d)] \cdot k_T(T) \quad 1)$$

Cette méthodologie, avec les paramétrages appropriés, est celle proposée par le GNDCI - VAPI pour le territoire en question (Cao et al., 1991). Pour la Région Sardaigne, le Rapport de Synthèse VAPI<sup>10</sup> fournit un rapport empirique pour le calcul des précipitations moyennes et une distribution de probabilité, en utilisant le modèle de Valeur Extrême à deux composantes, avec les paramètres associés pour les trois sous-zones de précipitations homogènes, pour le facteur de croissance. Plus précisément, la municipalité de Sassari fait partie de la Sous-zone Pluviométrique Homogène n°2, pour laquelle la loi expéditive suivante est fournie pour le calcul du facteur de croissance :

$$k_T = 0.60937 + 0.91699 \cdot \log(T) + 3.9932 \cdot 10^{-2} \cdot [\log(T)]^2 \quad (2)$$

Une actualisation ultérieure (Regione Sardaigne, 2000), en outre, permet d'évaluer l'indice de pluie en tant que fonction de la moyenne des précipitations maximales journalières annuelles et de calculer en détail le facteur de croissance en fonction de la durée de la pluie; pour le territoire en cause et pour les durées supérieures à 1 heure, les rapports sont les suivants:

$$\mu[h(d)] = \frac{\mu[h(\text{daily})]}{0.886 - 24^{-0.493+0.476 \cdot \log([\mu[h(\text{daily})]])}} \cdot d^{-0.493+0.476 \cdot \log([\mu[h(\text{daily})]])} \quad (3)$$

$$k_T = a \cdot d^n \quad (4a)$$

$$a = 0.43797 + 1.089 \cdot \log(T) \quad (4b)$$

$$n = -6.3887 \cdot 10^{-3} - 4.5420 \cdot 10^{-3} \cdot \log(T) \quad (4c)$$

Le changement climatique pourrait à la fois influencer le paramètre d'échelle, en raison de la présence possible de tendances (même seulement en raison de la réduction du

<sup>10</sup> <http://www.idrologia.polito.it/gndci/rapporti/cagliari.htm>

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

nombre d'événements de précipitation), et le facteur de croissance, en raison de la possible plus grande variabilité induite. Si cela devait se produire, il en résulterait une augmentation future de l'intensité correspondant à un temps de retour donné par rapport à la valeur actuelle, ou une diminution de la période de retour d'une intensité donnée par rapport à la valeur actuelle T : en d'autres termes, cela se traduirait par une plus grande fréquence d'événements déjà considérés comme extrêmes. Ce scénario semble très critique pour un territoire, comme l'Italie, qui est déjà actuellement en proie à des événements extrêmes, dont les effets dévastateurs sont exacerbés par le manque d'entretien du territoire et l'augmentation générale des zones inaccessibles liée au processus d'urbanisation et à l'abandon de la campagne (Trigila et al., 2018).

Le processus de transfert de l'événement météorologique sur le territoire, connu sous le nom de « flux entrants et sortants », est fortement non linéaire (Castellari et al., 2014) étant influencé par de multiples sous-processus, tels que les mécanismes d'infiltration et d'évapo-transpiration, et par de nombreuses variables, telles que l'étendue et la conformation morphologique du bassin hydrographique et l'utilisation des terres, et différents modèles (expéditifs, conceptuels et/ou physiquement fondés<sup>11</sup>) sont actuellement adoptés pour son estimation. Comme pour les précipitations, les crues extrêmes peuvent également être étudiées selon l'approche de l'« indice de crue » : en d'autres mots, le débit de crue Q peut être exprimé comme un produit entre une valeur moyenne  $\mu$  - essentiellement une fonction de l'étendue et des caractéristiques géomorphologiques du bassin fluvial – et un facteur de croissance en fonction de la période de retour:

$$Q(T) = \mu(Q) \cdot k_T(T) \quad (5)$$

Cette méthodologie est celle proposée par GNDCI - VAPI pour le territoire en question (Cao et al., 1991) ; en particulier, les débits au pic de la crue sont distribués selon le modèle de la Valeur Extrême à deux composantes, avec des paramètres fournis par le

---

<sup>11</sup> "Expéditif" désigne des modèles de type "black box" fondés sur des formules empiriques; "conceptuels" désigne des modèles basés sur des relations physiques simplifiées ; "physiquement fondés" désigne des modèles fondés sur la résolution numérique des équations qui régissent les processus.

Rapport de Synthèse<sup>12</sup> pour les deux sous-zones hydrométriques homogènes ; le territoire de la Municipalité de Sassari se trouve dans la zone homogène des Bassins Occidentaux, pour laquelle la loi suivante est disponible pour le calcul du facteur de croissance :

$$k_T = -0.833 + 1.345 \cdot \ln(T) \quad (6)$$

Il convient de noter que, avec le même temps de retour, les facteurs de croissance des inondations ne coïncident pas avec ceux des précipitations : en d'autres termes, il ne signifie pas que l'événement météorologique de magnitude maximale dans l'année va générer l'inondation la plus importante pour cette année. Ceci est précisément lié à la forte non-linéarité du processus des flux entrants et sortants (Viglione & Blöschl 2009). Cela dit, les considérations relatives à l'effet du changement climatique sur le régime des précipitations de la zone d'intérêt ne peuvent pas être directement transférées au régime des crues. Dans ce contexte, il convient de noter que, compte tenu des limites liées à l'absence d'équivalence entre les facteurs de croissance des précipitations et des crues, les approches probabilistes du processus des flux entrants et sortants sont essentiellement deux (Figure 37).

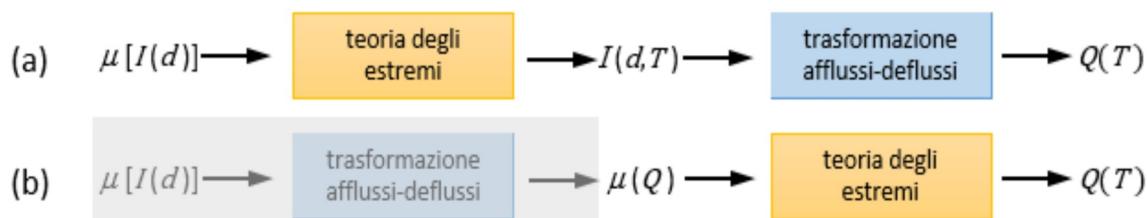


Figure 37: Approches au processus flux entrants-flux sortants

La méthodologie (a), définie comme “pluie di projet”, est la seule façon de progresser lorsqu'il n'y a pas d'informations, même régionalisées, sur la répartition des crues ; elle a été largement adoptée par le passé (Pilgrim & Cordery, 1993). La méthodologie (b), plus rigoureuse, n'est applicable que si une analyse directe (locale ou régionale) des données hydrométriques est disponible pour le site en cause, à partir de laquelle on

<sup>12</sup> <http://www.idrologia.polito.it/gndci/rapporti/cagliari.htm>

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

peut déduire les paramètres de la distribution des crues. en ce sens, si les données ou les paramétrages disponibles permettent un calcul direct de la crue moyenne, le processus flux entrants-flux sortants est facultatif et non nécessaire. Dans tous les cas, les analyses régionales du projet VAPI suggèrent que tant les précipitations moyennes que la crue moyenne sont principalement fonction des caractéristiques géomorphologiques du bassin en question, et il est donc légitime de penser que les variations attendues pour les précipitations moyennes induiront des altérations similaires dans l'intensité et l'ampleur de la crue moyenne, étant donné la constance de l'effet "filtre" opéré par le bassin sur lequel il n'est pas possible d'inférer uniquement sur la base du Profil Climatique Local. Dans ce cas, il est possible d'imaginer que l'augmentation de la fréquence des précipitations extrêmes se traduit par une augmentation de la fréquence des crues extrêmes, c'est-à-dire par une augmentation du débit au pic de la crue pendant une période de retour prédéterminée par rapport à la valeur actuelle. Cependant, il faut noter que l'hypothèse d'une constance de l'effet "filtre" du bassin pourrait être irréaliste pour les bassins dont la dynamique de l'équilibre hydrologique est régulée non seulement par les précipitations, mais aussi par des effets géomorphologiques et liés à la transpiration dans une mesure non négligeable. Dans ces cas, une estimation correcte du régime des crues ne peut pas faire abstraction de l'évaluation de l'impact du changement climatique sur les autres composantes du bilan hydrologique. Donc, elle doit nécessairement prendre en compte les variables qui, bien que non déterminantes à l'échelle journalière, régulent le régime des événements extrêmes, telles que les caractéristiques géologiques/géotechniques du sol, pour une interprétation correcte des conditions préalables à des précipitations catastrophiques.

### **Analyses et intégrations du Profil Climatique Local**

Le Profil Climatique Local de la municipalité de Sassari identifie les tendances potentielles induites par le changement climatique sur certains modèles atmosphériques pertinents, en se référant à la fois aux données observées au cours de la période historique 1981-2010 et aux projections climatiques obtenues par des approches multi-modèles/multi-scénarios pour une période future allant jusqu'à 2100. Ces analyses se

limitent à la variable représentative des précipitations journalières, quelle que soit leur agrégation, et ne fournissent pas d'indications détaillées sur les événements extrêmes à l'échelle sous-journalière (MATTM, 2014). Cette limite est principalement fonction, d'une part, des ensembles de données actuellement disponibles pour les données observées sur la zone et, d'autre part, des résolutions actuellement permises par les capacités de calcul et les paramétrages associés nécessaires. Ces derniers, en particulier, permettent une représentation adéquate des schémas atmosphériques qui se limitent à l'échelle journalière. Néanmoins, les indications tirées du Profil Climatique Local et résumées dans le paragraphe précédent peuvent être utiles pour décrire qualitativement un scénario futur, dans lequel, sur la base des résultats relatifs à la zone de la Municipalité de Sassari, il faut s'attendre à une augmentation de l'intensité des précipitations sur une base journalière, associée à une diminution du nombre annuel de jours de pluie.

Afin de mieux caractériser le régime pluvio-hydrométrique de la zone examinée, ce paragraphe comprend quelques considérations découlant de l'analyse des précipitations de la station de Sassari, sur la base d'indicateurs non utilisés dans le Profil Climatique Local et considérés d'un intérêt particulier pour une évaluation du régime des crues. En particulier, les Figures 38-43 montrent l'analyse des projections fournies par EuroCORDEX, en termes de *ensemble mean* et de gamme de variation, pour les deux scénarios de concentration RCP4.5 et RCP8.5 et pour les trois horizons temporels 2011-2040 (court terme), 2041-2070 (moyen terme) et 2071-2100 (long terme) pour les indicateurs suivants:

- R99p = nombre de jours par année où la hauteur de pluie journalière dépasse le 99<sup>e</sup> percentile;
- R95p = Nombre de jours par année où les précipitations sont supérieures ou égales au 95<sup>e</sup> percentile;
- R50p = nombre de jours par an où les précipitations journalières dépassent le 50<sup>e</sup> percentile;

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

- R99pTOT = précipitations cumulées sur les jours de l'année où la pluviosité journalière dépasse le 99<sup>e</sup> percentile;
- R95pTOT = précipitations cumulées sur les jours de l'année où la pluviosité journalière dépasse le 95<sup>e</sup> percentile;
- R50pTOT = précipitations cumulées sur les jours de l'année où la pluviosité journalière dépasse le 50<sup>e</sup> percentile.

Pour tous les indicateurs, le percentile utilisé comme seuil est calculé par rapport aux résultats des simulations pour la période de référence de trente ans (1981-2010). Ces indicateurs ont été choisis parce que, en raison de l'effet " filtre " du bassin hydrographique dans le contexte des flux entrants-flux sortants, le régime des crues est vraisemblablement plus sensible aux variations du régime des pluies extrêmes qu'aux variations des pluies ordinaires, généralement représentées par les indicateurs pris en compte dans le Profil Climatique Local, tels que les précipitations cumulées annuelles ou le nombre de jours de pluie. Pour les indicateurs de précipitations cumulées, il y a une tendance de croissance significative pour les deux scénarios de concentration, avec un taux de croissance plus élevé pour le scénario RCP8.5 que pour le scénario RCP4.5. Pour les indicateurs représentant le nombre de jours de pluie, il y a une tendance significative pour les deux scénarios ; cette tendance indique une diminution pour R50p, une constance pour R95p et une augmentation pour R99p. En définitive, la tendance de ces indicateurs suggère, comme le supposait déjà l'analyse du Profil Climatique Local, une aggravation des phénomènes météorologiques extrêmes, avec une augmentation systématique de la fréquence des percentiles estimés sur la base du climat actuel.

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

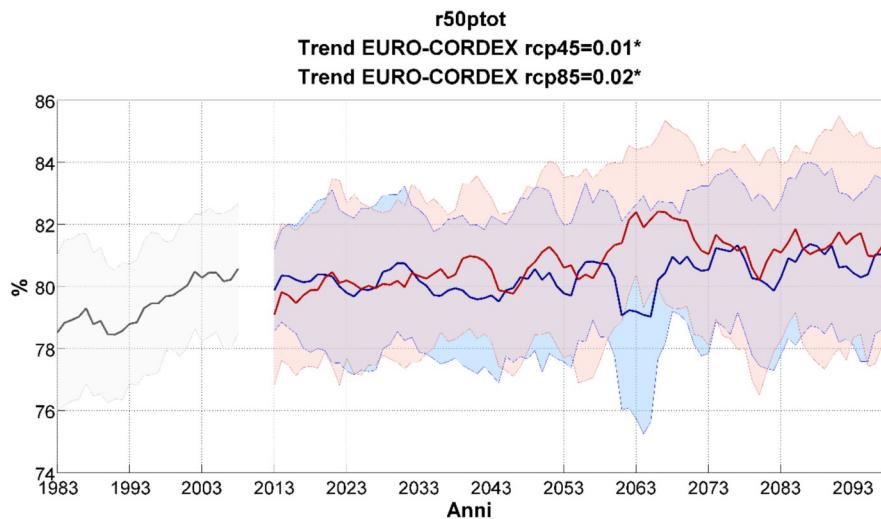


Figure 38: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur R50PTOT, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). Les lignes continues représentent l'*ensemble mean*; les bandes colorées sont obtenues en additionnant et en soustrayant l'écart-type entre les divers modèles climatiques considérés.

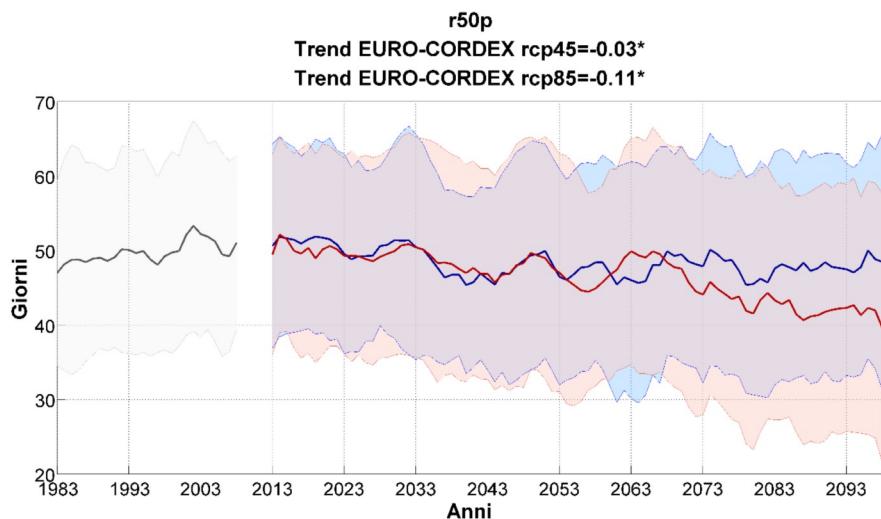


Figure 39: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur R50P, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). Les lignes continues représentent l'*ensemble mean*; les bandes colorées sont obtenues en additionnant et en soustrayant l'écart-type entre les divers modèles climatiques considérés.

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

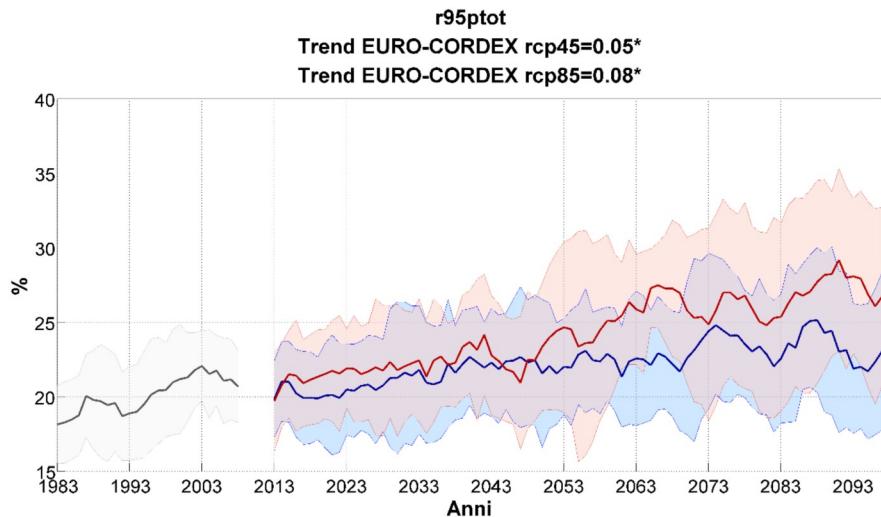


Figure 40: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur R95PTOT, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). Les lignes continues représentent la *ensemble mean*; les bandes colorées sont obtenues en additionnant et en soustrayant l'écart-type entre les divers modèles climatiques considérés.

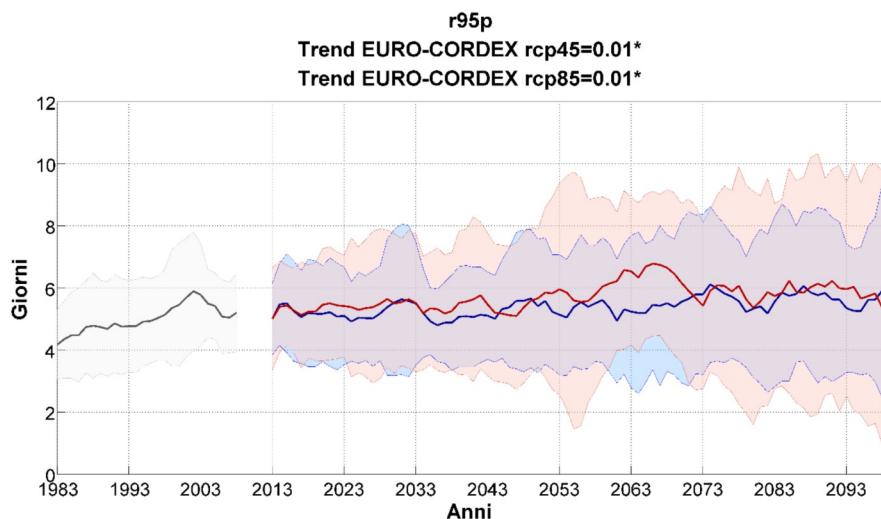


Figure 41: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur R95P, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). Les lignes continues représentent la *ensemble mean*; les bandes colorées sont obtenues en additionnant et en soustrayant l'écart-type entre les divers modèles climatiques considérés.

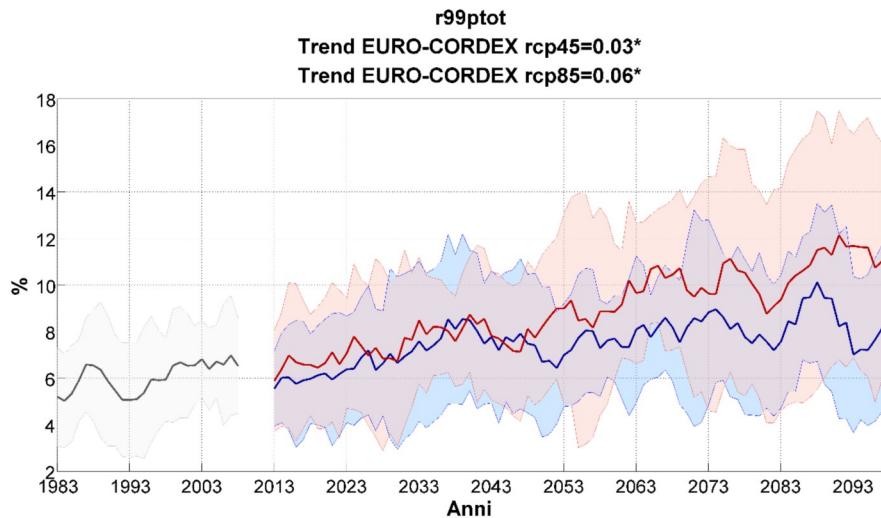


Figure 42: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur R99PTOT, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). Les lignes continues représentent la *ensemble mean*; les bandes colorées sont obtenues en additionnant et en soustrayant l'écart-type entre les divers modèles climatiques considérés.

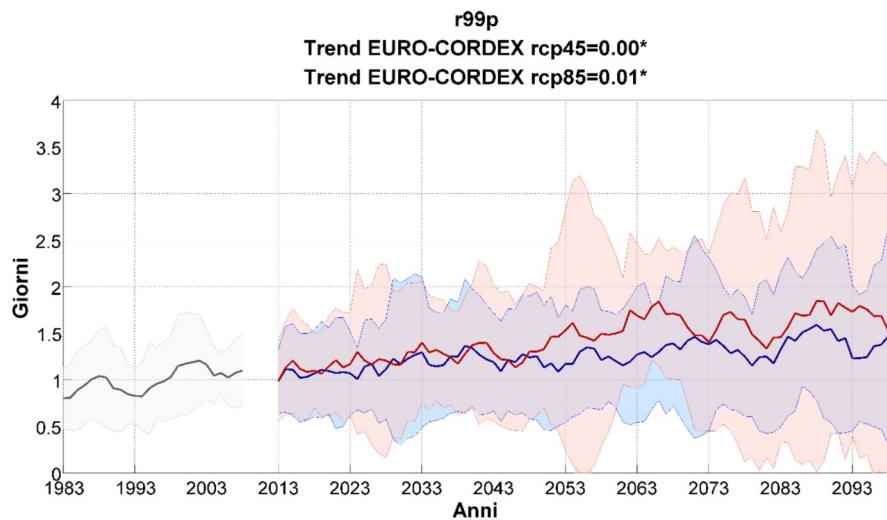


Figure 43: Projections climatiques des modèles EURO-CORDEX pour l'indicateur R99P, en considérant la période historique (en gris) et les scénarios RCP4.5 (en bleu) et RCP8.5 (en rouge). Les lignes continues représentent la *ensemble mean*; les bandes colorées sont obtenues en additionnant et en soustrayant l'écart-type entre les divers modèles climatiques considérés.

## Analyse des données C3S

Une évaluation supplémentaire des effets du changement climatique sur le régime hydrométrique des pluies de la zone d'intérêt peut être effectuée par les services de Copernicus. En particulier, la plate-forme Copernicus C3S<sup>13</sup> (*Copernicus Climate Change Service*), dans le cadre du projet SWICCA<sup>14</sup> (*Service for Water Indicators in Climate Change Adaptation*), fournit la base de données géoréférencées des indicateurs de quantité d'eau pour l'Europe (*Water Quantity Indicators for Europe*). Cette base de données, déclinée en un certain nombre de variables (dont le ruissellement, l'humidité, l'aridité, le débit des rivières, l'équivalent en eau de la neige et la teneur en eau du sol) contient les résultats des simulations obtenues par différents modèles hydrologiques (*Swedish Meteorological and Hydrological Institute E-HYPE*, *Wageningen University VIC model* et *Joint Research Center Lisflood models*) couplé avec différents modèles climatiques pour l'interprétation du climat actuel (pour les trente années de référence 1971-2000) et de ses projections futures (en référence aux trois mêmes horizons temporels définis dans le Profil Climatique Local). Les résolutions spatiales et temporelles des résultats dépendent des caractéristiques des modèles spécifiques adoptés; pour les indicateurs relatifs aux précipitations et aux débits de crue, les résolutions spatiales disponibles sont de 0,5° (environ 60 km), 5 km et à l'échelle du bassin (215 km<sup>2</sup> en moyenne), tandis que la résolution temporelle préférée est celle du jour. Pour chaque modèle climatique, les résultats disponibles sont représentés en termes de *ensemble mean* par rapport à *n* modèles, et accompagnés d'une mesure d'incertitude associée, en termes d'écart-type et d'extrêmes supérieurs et inférieurs de la gamme de variation.

Au sein de la plate-forme C3S, la zone étudiée comprend deux bassins de référence, comme le montre la Figure 44, qui seront ci-après dénommés "Alto Riu Mannu" et "Basso Riu Mannu". En ce qui concerne ces bassins, la plate-forme a été utilisée pour acquérir des données sur les indicateurs suivants:

- Intensité des précipitations – Durée (*Precipitation Intensity – Duration*)

<sup>13</sup> <https://climat.copernicus.eu/>

<sup>14</sup> <http://swicca.eu/>

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

- Recurrence de l'inondation (*Flood Recurrence*).



Figure 44: Bassins de référence (en vert) pour la Commune de Sassari dans le cadre de SWICCA<sup>15</sup>: Alto Riu Mannu (à gauche) et Basso Riu Mannu (à droite). Il est souligné en jaune comment l'Alto Riu Mannu constitue le bassin en amont par rapport au Basso Riu Mannu pour l'évaluation du régime des crues.

#### Intensité di précipitation – Durée (Precipitation Intensity – Duration)

Cet indicateur fournit les valeurs d'intensité des précipitations (à partir desquelles la hauteur des précipitations peut être immédiatement déduite) pour des durées significatives (1, 2, 3, 6, 12 et 24 heures) pour certaines périodes de retour prédéfinies (10, 50 et 100 ans). Ces valeurs sont fournies par la plate-forme avec une résolution d'environ 12 km (correspondant à la résolution des modèles climatiques EuroCORDEX), dont une cellule représentative a été analysée pour chacun des bassins de référence. Les valeurs sont dérivées de l'application des modèles climatiques inclus dans l'ensemble EuroCORDEX présenté dans le Tableau 23, en référence aux scénarios de concentration RCP4.5 et RCP8.5 et aux trois horizons temporels 2011-2040 (court terme), 2041-2070 (moyen terme) et 2071-2100 (long terme). Pour chacun des modèles, il existe également une simulation pour la période de référence 1971-2000, dont les résultats sont présentés en valeur absolue ; par contre, pour les horizons de projection, les résultats sont présentés en pourcentage de variation par rapport à la valeur obtenue pour la période de référence. Les Figures 45-46 montrent, pour le bassin Alto Riu Mannu, les courbes Hauteur (Intensité) des pluies - Durée pour la période de référence

15

<http://swicca.eu/climat--maps/>

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

1971-2000, tandis que les figures 47-52 montrent les variations attendues pour les trois horizons temporels futurs et les deux scénarios de concentration. De même, les figures 53-60 montrent les mêmes résultats pour le bassin inférieur de Riu Mannu. Enfin, les tableaux 24-30 montrent les valeurs significatives de l'analyse effectuée par la plateforme C3S.

Tableau 23: Modèles climatiques pour l'indicateur de précipitation (C3S)

Model input/forcing				
RCP	GCM	RCM	Period	Member Name
4.5	EC-EARTH	RCA4	1970-2100	ICHEC-EC-EARTH_rcp45
	CNRM-C5	RCA5	1970-2100	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_rcp45
	HadGEM2-ES	RCA6	1970-2100	MOHC-HadGEM2-ES_rcp45
	MPI-ESM-LR	RCA7	1970-2100	MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp45
	IPSL-CM5A-MR	RCA8	1970-2100	IPSL-IPSL-CM5A-MR_rcp45
8.5	CNRM-C5	RCA9	1970-2100	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_rcp85
	HadGEM2-ES	RCA10	1970-2100	MOHC-HadGEM2-ES_rcp85
	MPI-ESM-LR	RCA11	1970-2100	MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp85
	IPSL-CM5A-MR	RCA12	1970-2100	IPSL-IPSL-CM5A-MR_rcp85

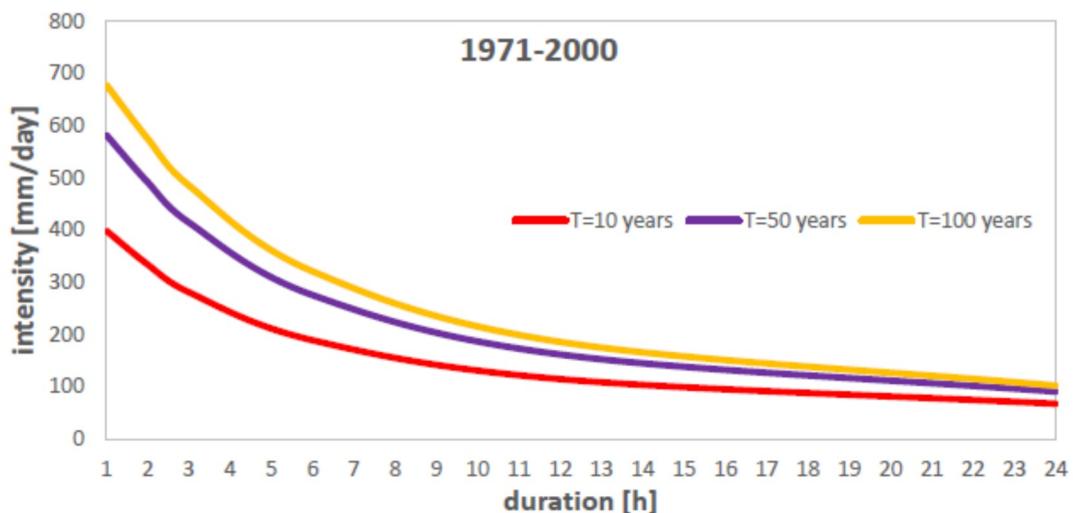


Figure 45: Courbes Intensité de pluie – Durée pour trois temps de retour différents pour la période de référence de trente ans (Alto Riu Mannu)

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

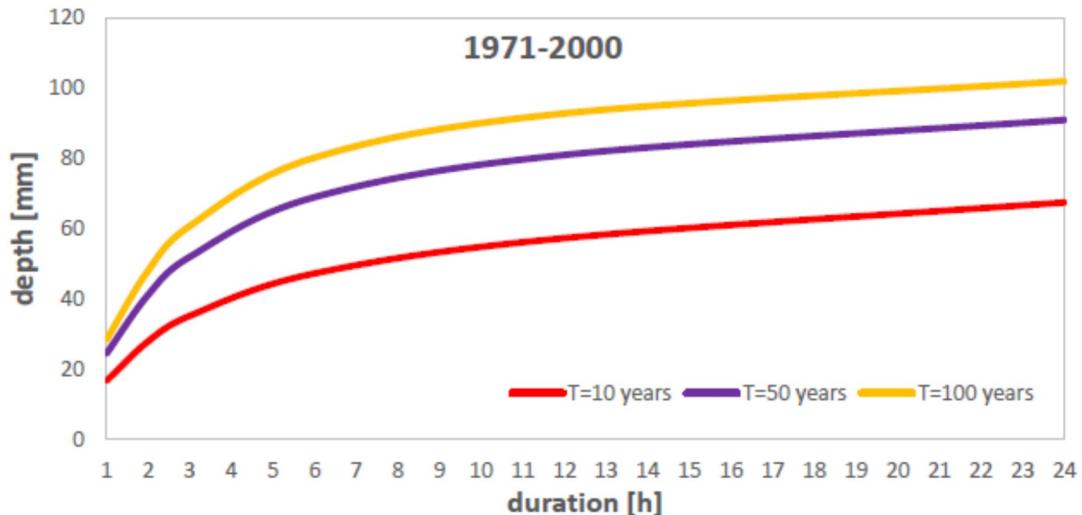


Figure 46: Courbes Hauteur de pluie – Durée pour trois temps de retour différents pour la période de référence de trente ans (Alto Riu Mannu)

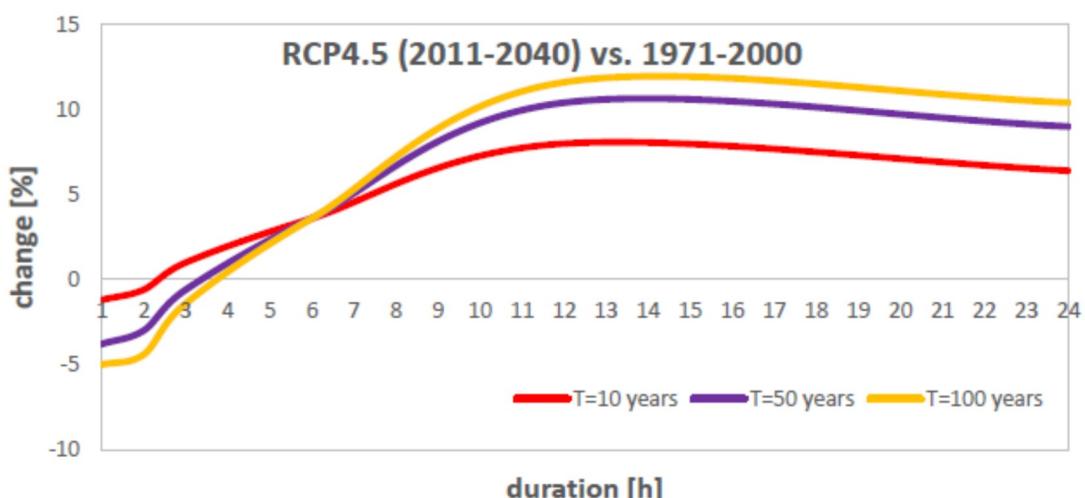


Figure 47: Projection à court terme de l'anomalie en pourcentage de la pluie (ensemble mean) pour trois temps de retour différents dans le scénario RCP4.5 (Alto Riu Mannu)

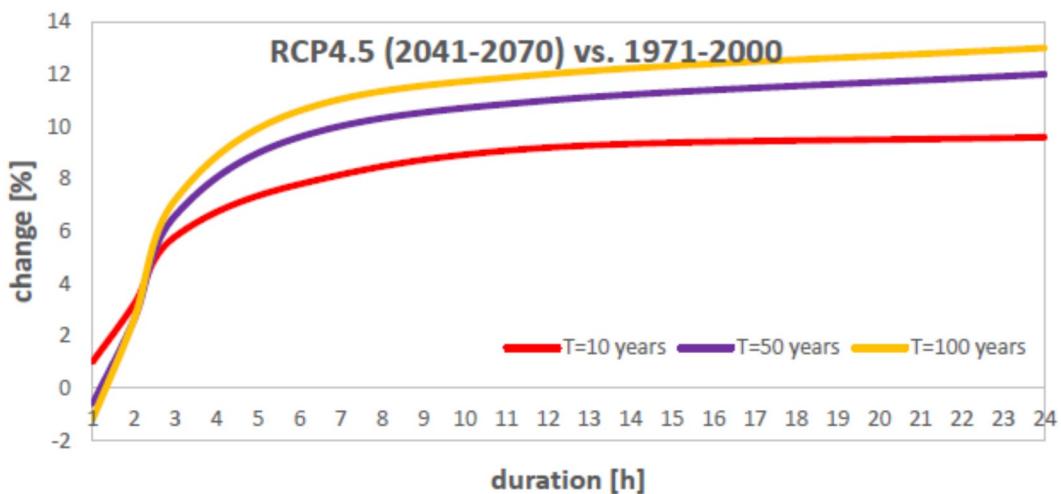


Figure 48: Projection à moyen terme de l'anomalie en pourcentage de la pluie (ensemble mean) pour trois temps de retour différents dans le scénario RCP4.5 (Alto Rio Mannu)

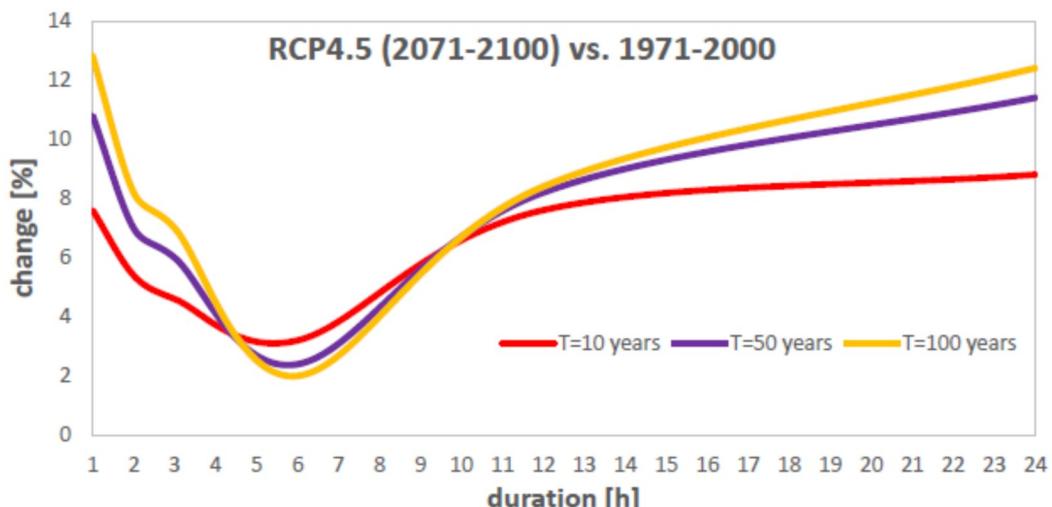


Figure 49: Projection à long terme de l'anomalie en pourcentage de la pluie (ensemble mean) pour trois temps de retour différents dans le scénario RCP4.5 (Alto Rio Mannu)

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

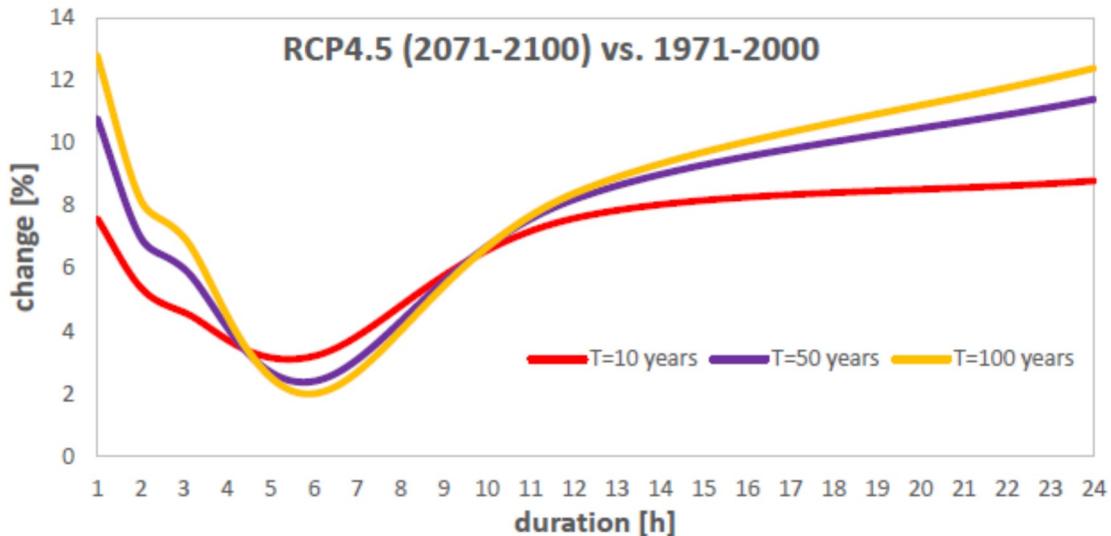


Figure 50: Projection à court terme de l'anomalie en pourcentage de la pluie (ensemble mean) pour trois temps de retour différents dans le scénario RCP8.5 (Alto Riu Mannu)

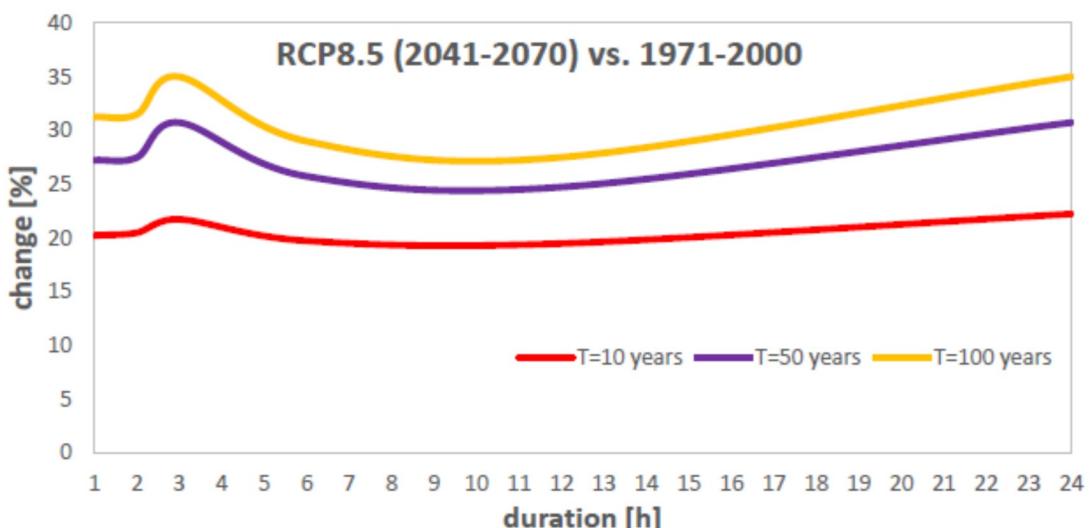


Figure 51: Projection à moyen terme de l'anomalie en pourcentage de la pluie (ensemble mean) pour trois temps de retour différents dans le scénario RCP8.5 (Alto Riu Mannu)

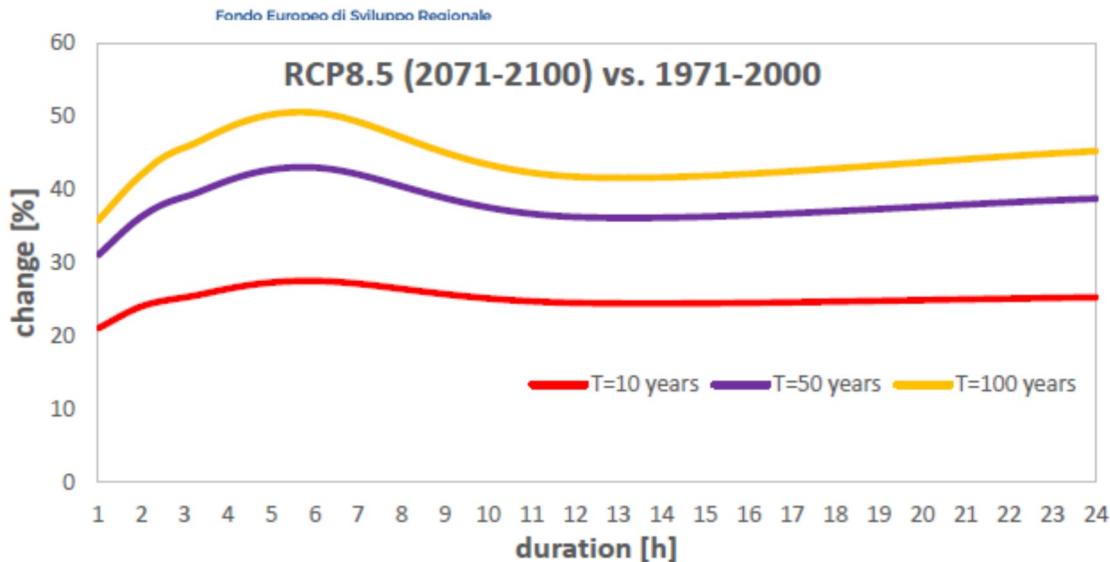


Figure 52: Projection à long terme de l'anomalie en pourcentage de la pluie (ensemble mean) pour trois temps de retour différents dans le scénario RCP8.5 (Alto Riu Mannu)

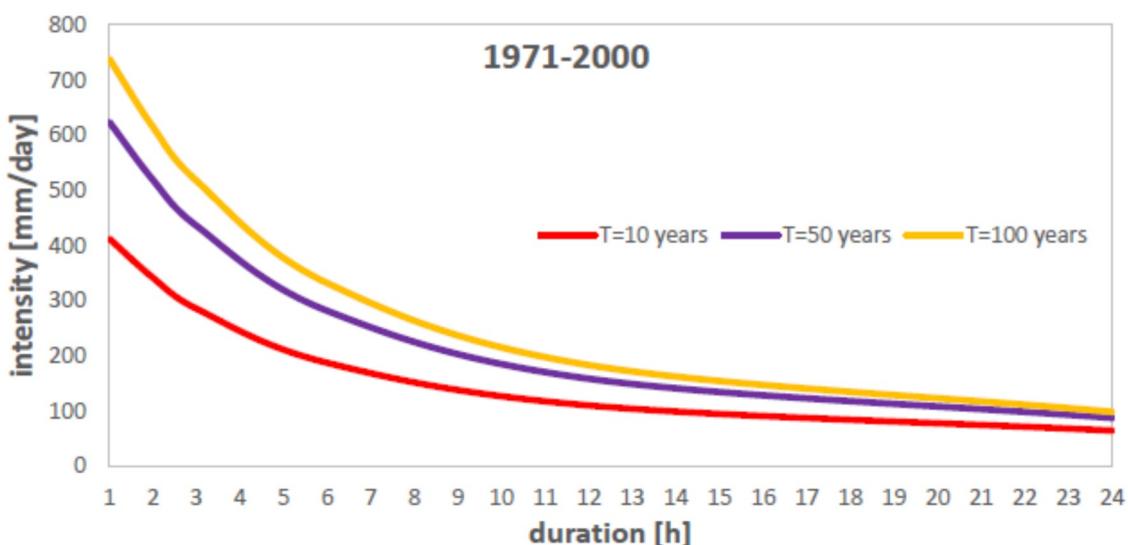


Figure 53: Courbes Intensité de pluie – Durée pour trois temps de retour différents pour la période de référence de trente ans (Basso Riu Mannu)

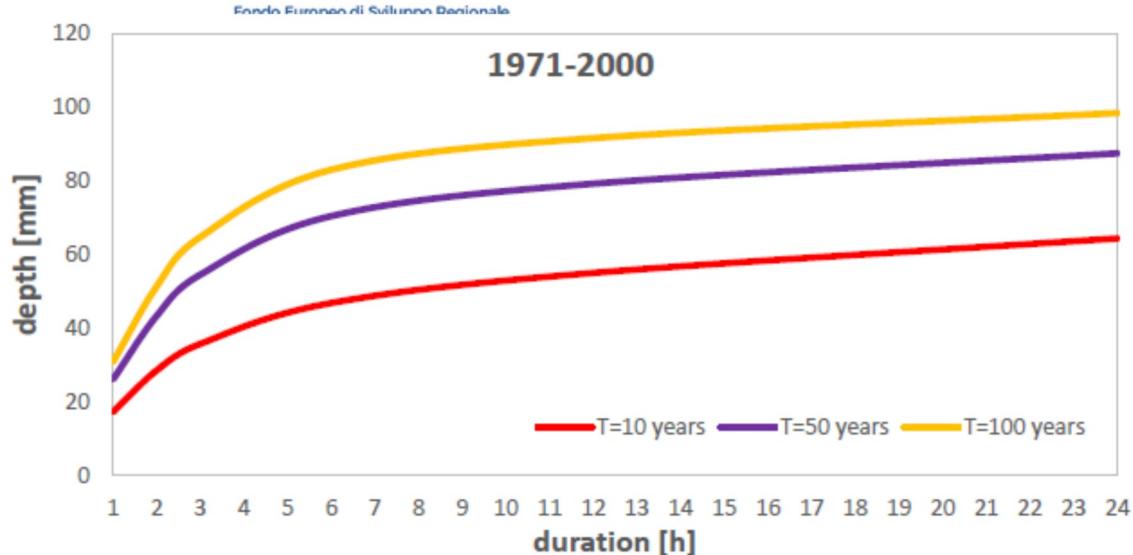


Figure 54: Courbes Hauteur de pluie – Durée pour trois temps de retour différents pour la période de référence de trente ans (Basso Riu Mannu)

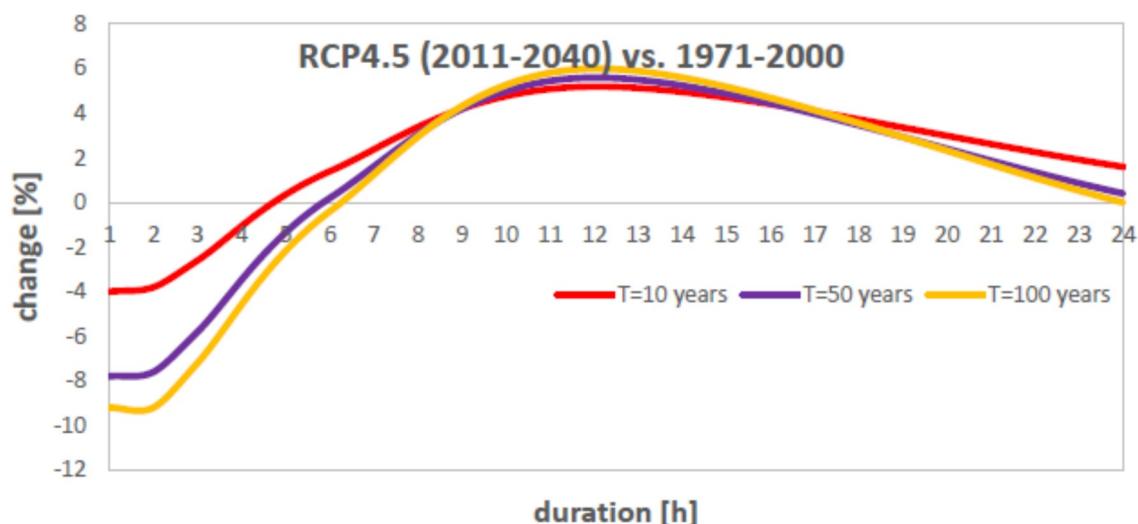


Figure 55: Projection à court terme de l'anomalie en pourcentage de la pluie (ensemble mean) pour trois temps de retour différents dans le scénario RCP4.5 (Basso Riu Mannu)

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

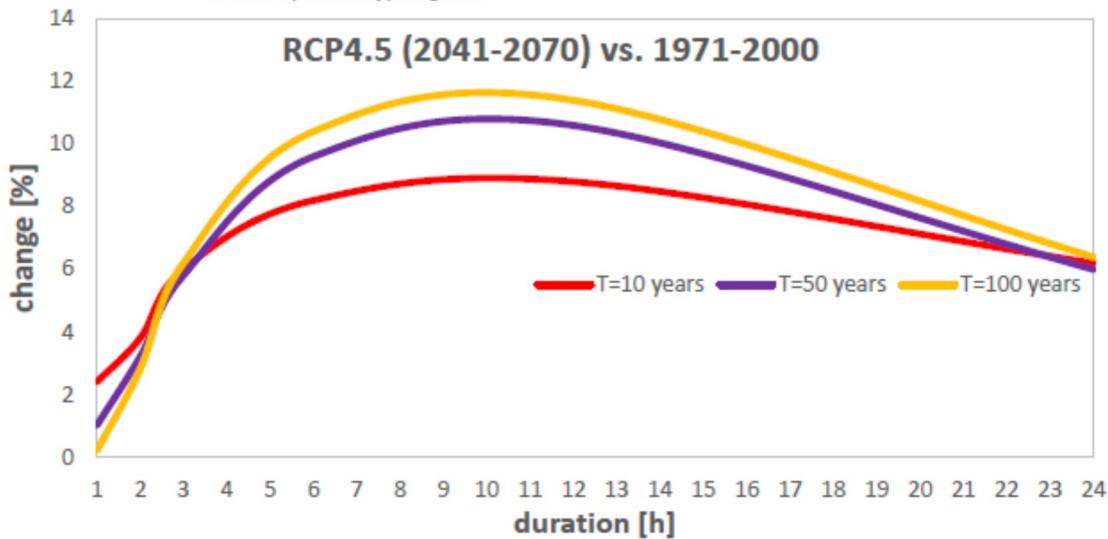


Figure 56: Projection à moyen terme de l'anomalie en pourcentage de la pluie (ensemble mean) pour trois temps de retour différents dans le scénario RCP4.5 (Basso Riu Mannu)

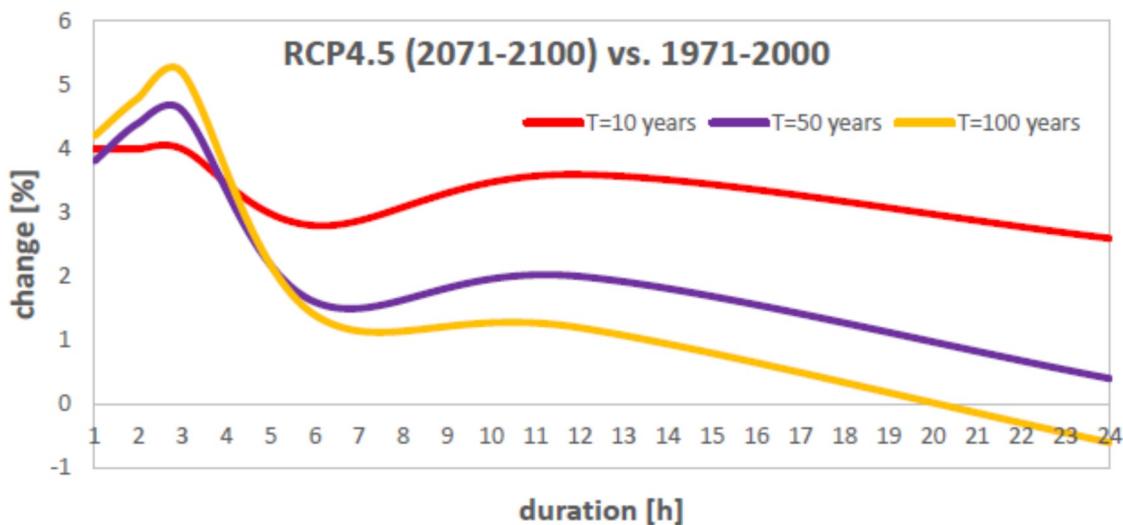


Figure 57: Projection à long terme de l'anomalie en pourcentage de la pluie (ensemble mean) pour trois temps de retour différents dans le scénario RCP4.5 (Basso Riu Mannu)

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

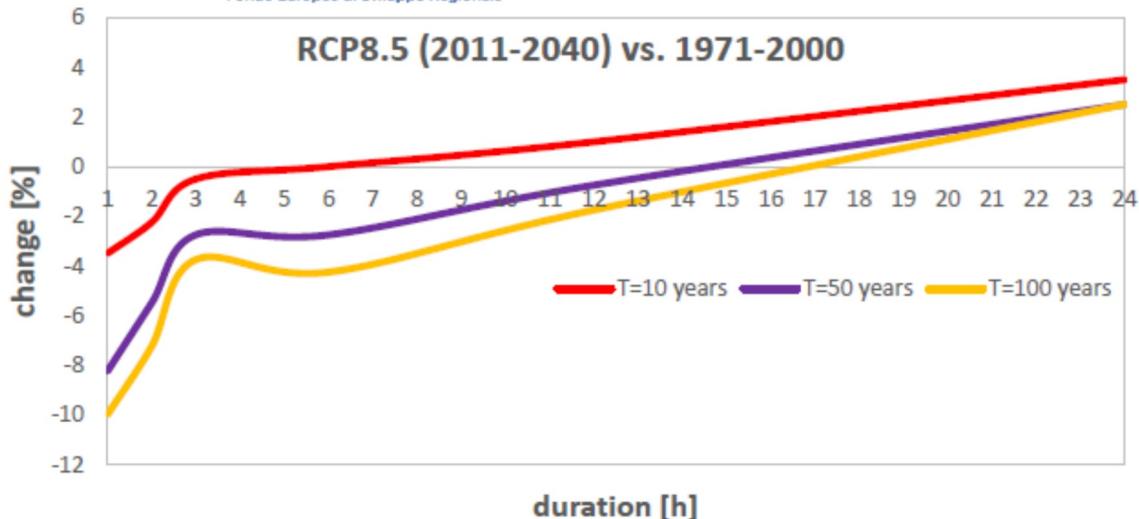


Figure 58: Projection à court terme de l'anomalie en pourcentage de la pluie (ensemble mean) pour trois temps de retour différents dans le scénario RCP8.5 (Basso Riu Mannu)

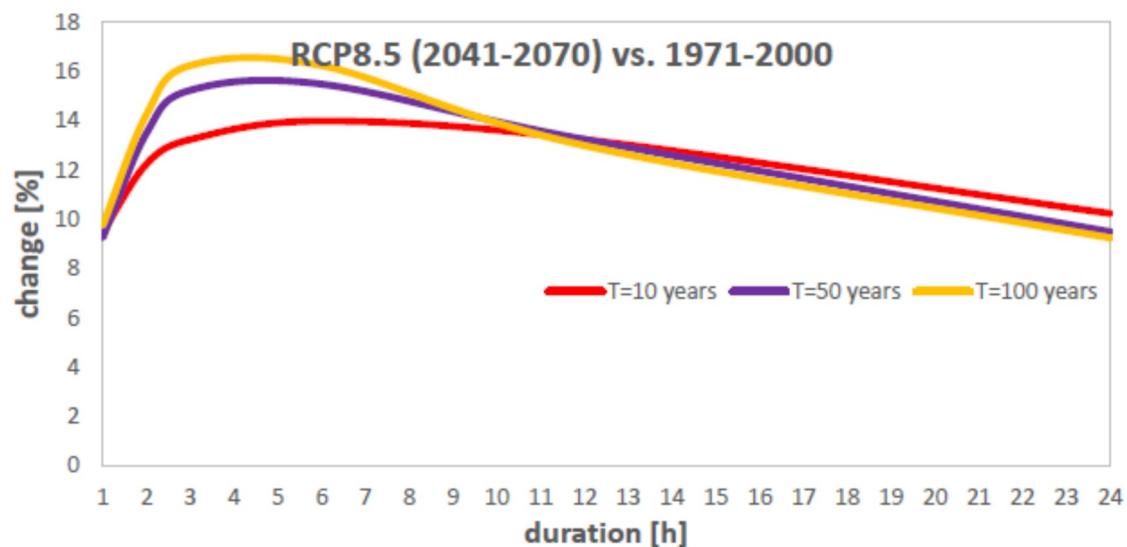


Figure 59: Projection à moyen terme de l'anomalie en pourcentage de la pluie (ensemble mean) pour trois temps de retour différents dans le scénario RCP8.5 (Basso Riu Mannu)

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

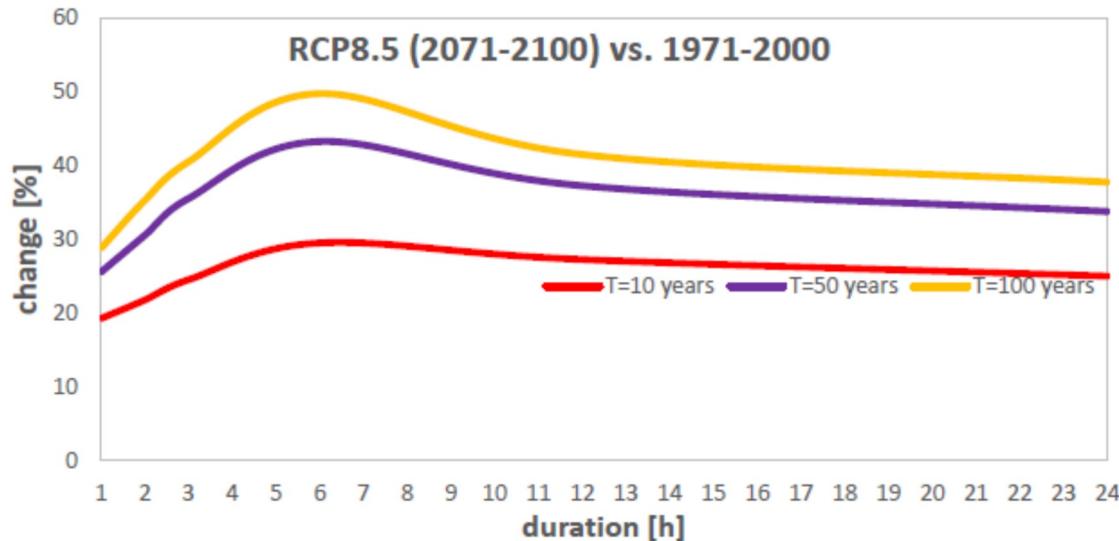


Figure 60: Projection à long terme de l'anomalie en pourcentage de la pluie (ensemble mean) pour trois temps de retour différents dans le scénario RCP8.5 (Basso Riu Mannu)

Tableau 24. Résultats de l'application des modèles climatiques (Alto Riu Mannu) pour la période de référence de trente ans

		Reference period (1971-2000)				
		1h [mm/day]	2h [mm/day]	3h [mm/day]	6h [mm/day]	12h [mm/day]
T=10	average change	399,0	334,4	281,2	189,0	114,6
	standard deviation of change	60,4	50,3	40,3	23,4	9,4
	maximum change	473,1	394,0	326,3	205,7	120,7
	minimum change	292,7	243,7	206,4	143,2	95,8
T=50	average change	582,7	492,4	415,0	275,7	161,9
	standard deviation of change	106,3	90,6	72,8	42,0	14,9
	maximum change	694,9	586,6	485,2	312,0	172,8
	minimum change	395,0	327,4	278,8	193,7	132,4
T=100	average change	678,7	575,7	485,8	320,9	185,7
	standard deviation of change	133,7	114,7	92,3	53,3	18,1
	maximum change	810,7	688,7	569,4	371,4	200,2
	minimum change	443,5	367,0	313,2	217,7	150,2

Tableau 25. Projections à court/moyen/long terme pour l'indicateur de pluie (Alto Riu Mannu) pour T = 10 ans

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Projection		Change 2011-2040				
		1h [%]	2h [%]	3h [%]	6h [%]	12h [%]
RCP45	<b>average change</b>	-1	0	1	2	0
	standard deviation of change	4	4	4	4	4
	n=5 maximum change	5	5	5	5	5
	minimum change	-7	-7	-7	-7	-7
RCP85	<b>average change</b>	3	-4	-5	-4	-3
	standard deviation of change	18	18	18	18	18
	n=4 maximum change	29	29	29	29	29
	minimum change	-10	-10	-10	-10	-10

Projection		Change 2041-2070				
		1h [%]	2h [%]	3h [%]	6h [%]	12h [%]
RCP45	<b>average change</b>	1	5	5	6	7
	standard deviation of change	12	12	12	12	12
	n=5 maximum change	14	14	14	14	14
	minimum change	-12	-12	-12	-12	-12
RCP85	<b>average change</b>	20	-1	-1	1	4
	standard deviation of change	23	23	23	23	23
	n=4 maximum change	50	50	50	50	50
	minimum change	-2	-2	-2	-2	-2

Projection		Change 2071-2100				
		1h [%]	2h [%]	3h [%]	6h [%]	12h [%]
RCP45	<b>average change</b>	8	9	10	12	12
	standard deviation of change	24	24	24	24	24
	n=5 maximum change	44	44	44	44	44
	minimum change	-15	-15	-15	-15	-15
RCP85	<b>average change</b>	21	10	10	10	11
	standard deviation of change	14	14	14	14	14
	n=4 maximum change	39	39	39	39	39
	minimum change	7	7	7	7	7

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Tableau 26. Projections à court/moyen/long terme pour l'indicateur de pluie (Alto Riu Mannu) pour T = 50 ans

Projection		Change 2011-2040				
		1h [%]	2h [%]	3h [%]	6h [%]	12h [%]
RCP45	<b>average change</b>	-4	-2	0	1	-1
	standard deviation of change	7	7	7	7	7
	maximum change	7	7	7	7	7
	minimum change	-11	-11	-11	-11	-11
RCP85	<b>average change</b>	2	-5	-7	-6	-5
	standard deviation of change	25	25	25	25	25
	maximum change	39	39	39	39	39
	minimum change	-15	-15	-15	-15	-15

Projection		Change 2041-2070				
		1h [%]	2h [%]	3h [%]	6h [%]	12h [%]
RCP45	<b>average change</b>	-1	4	5	5	6
	standard deviation of change	16	16	16	16	16
	maximum change	18	18	18	18	18
	minimum change	-20	-20	-20	-20	-20
RCP85	<b>average change</b>	27	-4	-4	-1	2
	standard deviation of change	38	38	38	38	38
	maximum change	75	75	75	75	75
	minimum change	-7	-7	-7	-7	-7

Projection		Change 2071-2100				
		1h [%]	2h [%]	3h [%]	6h [%]	12h [%]
RCP45	<b>average change</b>	11	13	15	16	15
	standard deviation of change	38	38	38	38	38
	maximum change	71	71	71	71	71
	minimum change	-25	-25	-25	-25	-25
RCP85	<b>average change</b>	31	15	16	14	15
	standard deviation of change	25	25	25	25	25
	maximum change	61	61	61	61	61
	minimum change	3	3	3	3	3

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

**Tableau 27. Projections à court/moyen/long terme pour l'indicateur de pluie (Alto Riu Mannu) pour T = 100 ans**

Projection		Change 2011-2040				
		1h [%]	2h [%]	3h [%]	6h [%]	12h [%]
RCP45	<b>average change</b>	-5	-2	0	1	-2
	standard deviation of change	8	8	8	8	8
	maximum change	8	8	8	8	8
	minimum change	-13	-13	-13	-13	-13
RCP85	<b>average change</b>	2	-6	-8	-6	-5
	standard deviation of change	28	28	28	28	28
	maximum change	44	44	44	44	44
	minimum change	-17	-17	-17	-17	-17

Projection		Change 2041-2070				
		1h [%]	2h [%]	3h [%]	6h [%]	12h [%]
RCP45	<b>average change</b>	-1	4	4	4	5
	standard deviation of change	18	18	18	18	18
	maximum change	20	20	20	20	20
	minimum change	-23	-23	-23	-23	-23
RCP85	<b>average change</b>	31	-5	-5	-2	1
	standard deviation of change	45	45	45	45	45
	maximum change	88	88	88	88	88
	minimum change	-9	-9	-9	-9	-9

Projection		Change 2071-2100				
		1h [%]	2h [%]	3h [%]	6h [%]	12h [%]
RCP45	<b>average change</b>	13	15	17	18	16
	standard deviation of change	44	44	44	44	44
	maximum change	84	84	84	84	84
	minimum change	-28	-28	-28	-28	-28
RCP85	<b>average change</b>	36	17	18	16	17
	standard deviation of change	30	30	30	30	30
	maximum change	71	71	71	71	71
	minimum change	1	1	1	1	1

**Tableau 28. Projections à court/moyen/long terme pour l'indicateur de pluie (Basso Riu Mannu) pour T = 10 ans**

Projection		Change 2011-2040				
		1h [%]	2h [%]	3h [%]	6h [%]	12h [%]
RCP45	<b>average change</b>	-4	-5	-3	0	3
	standard deviation of change	8	8	8	8	8
	maximum change	6	6	6	6	6
	minimum change	-13	-13	-13	-13	-13
RCP85	<b>average change</b>	-4	-2	-2	-3	-3
	standard deviation of change	8	8	8	8	8
	maximum change	5	5	5	5	5
	minimum change	-15	-15	-15	-15	-15

Projection		Change 2041-2070				
		1h [%]	2h [%]	3h [%]	6h [%]	12h [%]
RCP45	<b>average change</b>	2	1	2	5	8
	standard deviation of change	13	13	13	13	13
	maximum change	21	21	21	21	21
	minimum change	-16	-16	-16	-16	-16
RCP85	<b>average change</b>	10	-1	-1	1	2
	standard deviation of change	18	18	18	18	18
	maximum change	32	32	32	32	32
	minimum change	-7	-7	-7	-7	-7

Projection		Change 2071-2100				
		1h [%]	2h [%]	3h [%]	6h [%]	12h [%]
RCP45	<b>average change</b>	4	12	14	17	18
	standard deviation of change	24	24	24	24	24
	maximum change	45	45	45	45	45
	minimum change	-14	-14	-14	-14	-14
RCP85	<b>average change</b>	19	8	9	10	10
	standard deviation of change	21	21	21	21	21
	maximum change	42	42	42	42	42
	minimum change	-6	-6	-6	-6	-6

Tableau 29. Projections à court/moyen/long terme pour l'indicateur de pluie (Basso Riu Mannu) pour T = 50 ans

Projection		Change 2011-2040				
		1h [%]	2h [%]	3h [%]	6h [%]	12h [%]
RCP45	<b>average change</b>	-8	-10	-7	-3	3
	standard deviation of change	12	12	12	12	12
	maximum change	6	6	6	6	6
	minimum change	-21	-21	-21	-21	-21
RCP85	<b>average change</b>	-8	-4	-5	-6	-5
	standard deviation of change	13	13	13	13	13
	maximum change	5	5	5	5	5
	minimum change	-26	-26	-26	-26	-26

Projection		Change 2041-2070				
		1h [%]	2h [%]	3h [%]	6h [%]	12h [%]
RCP45	<b>average change</b>	1	-2	-2	3	7
	standard deviation of change	19	19	19	19	19
	maximum change	30	30	30	30	30
	minimum change	-24	-24	-24	-24	-24
RCP85	<b>average change</b>	9	-4	-3	-1	0
	standard deviation of change	28	28	28	28	28
	maximum change	43	43	43	43	43
	minimum change	-17	-17	-17	-17	-17

Projection		Change 2071-2100				
		1h [%]	2h [%]	3h [%]	6h [%]	12h [%]
RCP45	<b>average change</b>	4	15	17	22	23
	standard deviation of change	36	36	36	36	36
	maximum change	64	64	64	64	64
	minimum change	-21	-21	-21	-21	-21
RCP85	<b>average change</b>	26	12	13	13	12
	standard deviation of change	36	36	36	36	36
	maximum change	65	65	65	65	65
	minimum change	-17	-17	-17	-17	-17

**Tableau 30. Projections à court/moyen/long terme pour l'indicateur de pluie (Basso Riu Mannu) pour T = 100 ans**

Projection		Change 2011-2040				
		1h [%]	2h [%]	3h [%]	6h [%]	12h [%]
RCP45	<b>average change</b>	-9	-13	-9	-4	3
	standard deviation of change	14	14	14	14	14
	maximum change	6	6	6	6	6
	minimum change	-24	-24	-24	-24	-24
RCP85	<b>average change</b>	-10	-5	-5	-7	-6
	standard deviation of change	15	15	15	15	15
	maximum change	5	5	5	5	5
	minimum change	-30	-30	-30	-30	-30

Projection		Change 2041-2070				
relative to baseline		1h [%]	2h [%]	3h [%]	6h [%]	12h [%]
RCP45	<b>average change</b>	0	-3	-3	2	6
	standard deviation of change	22	22	22	22	22
	maximum change	34	34	34	34	34
	minimum change	-28	-28	-28	-28	-28
RCP85	<b>average change</b>	10	-5	-4	-2	-1
	standard deviation of change	32	32	32	32	32
	maximum change	49	49	49	49	49
	minimum change	-21	-21	-21	-21	-21

Projection		Change 2071-2100				
		1h [%]	2h [%]	3h [%]	6h [%]	12h [%]
RCP45	<b>average change</b>	4	16	19	24	25
	standard deviation of change	42	42	42	42	42
	maximum change	74	74	74	74	74
	minimum change	-24	-24	-24	-24	-24
RCP85	<b>average change</b>	29	14	15	14	13
	standard deviation of change	43	43	43	43	43
	maximum change	76	76	76	76	76
	minimum change	-22	-22	-22	-22	-22

Ce qui est clair, c'est que ***pour chaque combinaison scénario/horizon temporel, le changement climatique entraîne un changement positif de l'indicateur de pluie, c'est-à-dire une augmentation des valeurs de hauteur/intensité pour la même période de retour par rapport aux conditions climatiques actuelles et, en même temps, une diminution des temps de retour pour la même quantité de pluie.***

Cela confirme ce qui a déjà été supposé à partir de l'analyse du Profil Climatique Local, c'est-à-dire un extrême des événements météorologiques, avec un nombre plus faible d'événements pluvieux de plus grande intensité. Pour les deux bassins, l'augmentation de l'indicateur de précipitations augmente avec la période de retour, mais de façon inégale selon les différentes durées, atteignant des valeurs plus élevées dans le scénario RCP8.5 que dans le scénario RCP4.5, comme il fallait s'y attendre.

L'indicateur de pluie analysé représente, à toutes fins utiles, une loi de pluviosité pour le bassin en question ; en particulier, les valeurs estimées sur la période de référence représentent la loi de pluviosité actuelle, tandis que les valeurs disponibles sur la période future en représentent la variation en pourcentage. Évidemment, les incertitudes habituellement associées aux modèles climatiques font que la loi de pluviosité estimée sur la période de référence présente des différences (*biais*) par rapport à une loi équivalente calibrée sur la base des observations. Pour le territoire en question, cette loi est fournie, en l'absence de données mesurées directement *in situ*, dans le cadre du projet VAPI (Cao et al., 1991) ; sa comparaison avec la loi des pluies fournie par les modèles en Tableau 23 en termes de *ensemble mean* et représentée en Figure 46 et Figure 54 (Alto/Basso Riu Mannu respectivement), est nécessaire pour la quantification correcte de ce *biais*.

La procédure suivante a été adoptée pour dériver la loi de pluviosité pour chacun des deux bassins de référence:

1. A partir des mêmes observations des précipitations journalières utilisées pour la préparation du Profil Climatique Local, relatives à la période 1981-2010, la hauteur moyenne des précipitations journalières  $h$  (*daily*) a été obtenue comme moyenne d'échantillon des données;

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

2. En appliquant l'équation (3), on a obtenu les hauteurs moyennes des précipitations pour diverses durées  $d$ ;
3. Les facteurs de croissance  $k_T$  ont été calculés en appliquant l'équation (4a), dans laquelle les paramètres  $a$  et  $b$  ont été calculés à l'aide des équations (4b) et (4c) pour les trois mêmes temps de retour considérés dans la plate-forme C3S (10, 50 et 100 ans);
4. Pour chacun de ces trois temps de retour, la loi pluie - durée a été obtenue en multipliant le facteur de croissance par la hauteur moyenne de pluie pour chacune des durées considérées (de 1 à 24 heures, avec un intervalle de 1 heure).

La comparaison, indiquée en Figure 61 et Figure 62, montre qu'en termes de *ensemble mean*, les modèles climatiques interprètent bien, en moyenne, la distribution des probabilités de pluie, avec un écart systématique qui peut être attribué au *biais*, c'est-à-dire à l'impossibilité des modèles de reproduire correctement l'indice de pluie pluie, qui est sous-estimé pour les deux bassins d'intérêt. De même, il y a une différence, bien que non significative, entre trois courbes représentatives des résultats du modèle pour les deux bassins. Enfin, le *biais* augmente progressivement à mesure que le temps de retour et la durée de la pluie augmentent. Dans l'ensemble, le meilleur accord est celui d'un délai de retour de 10 ans.

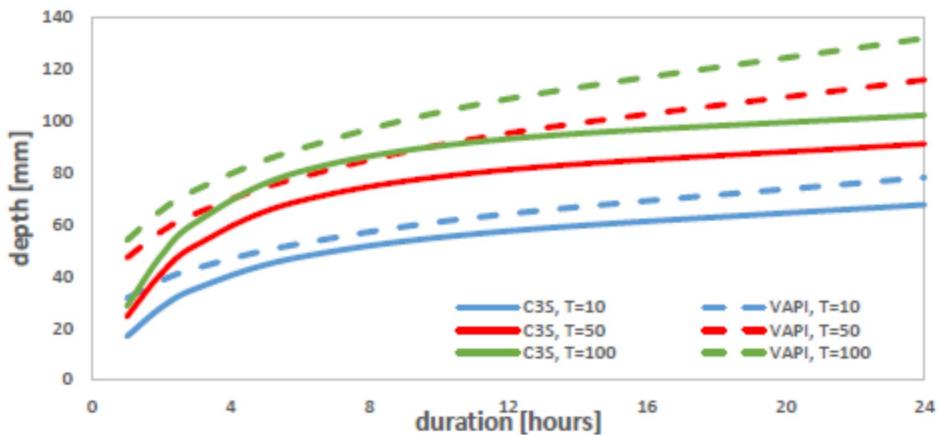


Figure 61: Courbe hauteur de pluie - durée pour les temps de retour 10, 20 et 100 ans (couplage VAPI - observations 1981-2010 vs. *ensemble mean* 1971-2000) (Basso Riu Mannu)

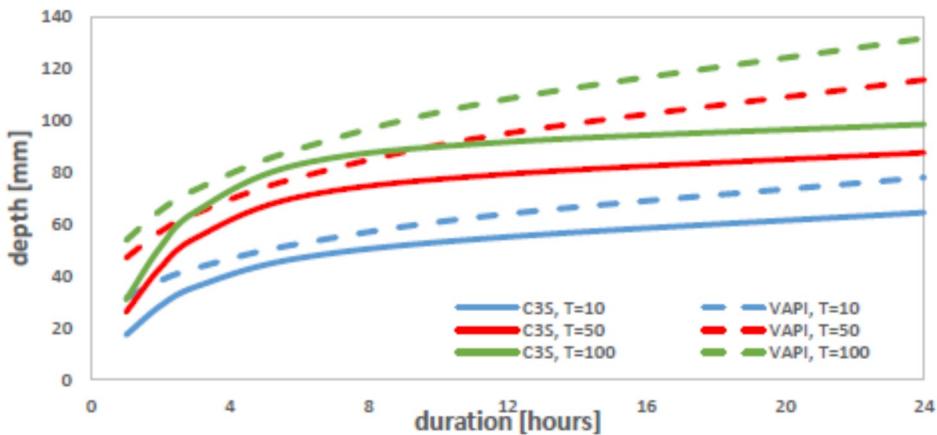


Figure 62: Courbe hauteur de pluie - durée pour les temps de retour 10, 20 et 100 ans (couplage VAPI - observations 1981-2010 vs. ensemble mean 1971-2000) (Basso Riu Mannu)

### Recurrence de l'inondation

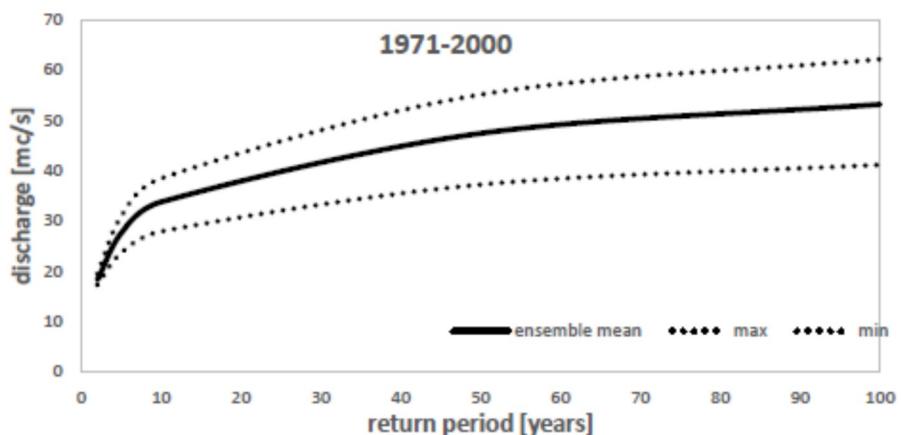
Cet indicateur fournit les valeurs du débit journalier maximal annuel pour certaines périodes de retour significatifs (2, 5, 10, 50 et 100 ans). Ces valeurs sont dérivées de l'application du modèle hydrologique *E-HYPE 2.1* à l'échelle du bassin sur la base des variables atmosphériques fournies par les modèles climatiques présentés dans le Tableau 23 en référence aux scénarios de concentration RCP4.5 et RCP8.5 et aux trois horizons temporels 2011-2040 (court terme), 2041-2070 (moyen terme) et 2071-2100 (long terme). Le modèle hydrologique fournit les valeurs journalières du débit passant par la section de fermeture du bassin, dont les maximaux annuels sont ensuite interprétés au moyen de la distribution de probabilité des extrêmes de Gumbel pour en extraire les percentiles significatifs. Les figures 63-64 montrent, pour les bassins de l'Alto et du Bassu Riu Mannu, la courbe représentative de la distribution de probabilité des débits journaliers maximaux annuels; la comparaison montre, comme on pouvait s'y attendre, que les débits du bassin en aval sont supérieurs à ceux du bassin en amont, compte tenu de la plus grande superficie sous-jacente à la section de fermeture de référence. Les figures 64-74 montrent, pour les deux bassins, les variations relatives en pourcentage pour les trois horizons temporels futurs et les deux scénarios de

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

concentration. Les tableaux 32-39 illustrent les valeurs significatives de l'analyse effectuée par la plate-forme C3S.

**Tableau 31. Modèles climatiques pour l'indicateur de crue (C3S)**

Model input/forcing			
RCP	GCM	RCM	Period
4.5	EC-EARTH	RCA4	1970-2100
	EC-EARTH	RACMO22E	1951-2100
	HadGEM2-ES	RCA4	1970-2098
	MPI-ESM-LR	REMO2009	1951-2100
	CM5A	WRF33	1971-2100
8.5	EC-EARTH	RCA4	1971-2100
	EC-EARTH	RACMO22E	1951-2100
	HadGEM2-ES	RCA4	1970-2098
	MPI-ESM-LR	REMO2009	1951-2100



**Figure 63: Courbe probabiliste des débits journaliers maximaux annuels (*ensemble mean* et gamme de variation maximale) les trente années de référence (Alto Riu Mannu)**

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

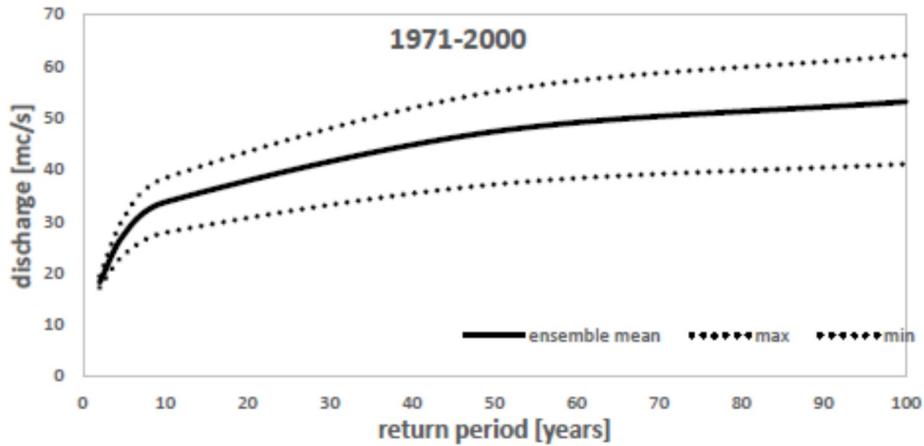


Figure 64: Courbe probabiliste du débit journalier maximum annuel (*ensemble mean* et gamme de variation maximale) pour les trente années de référence (Basso Riu Mannu)

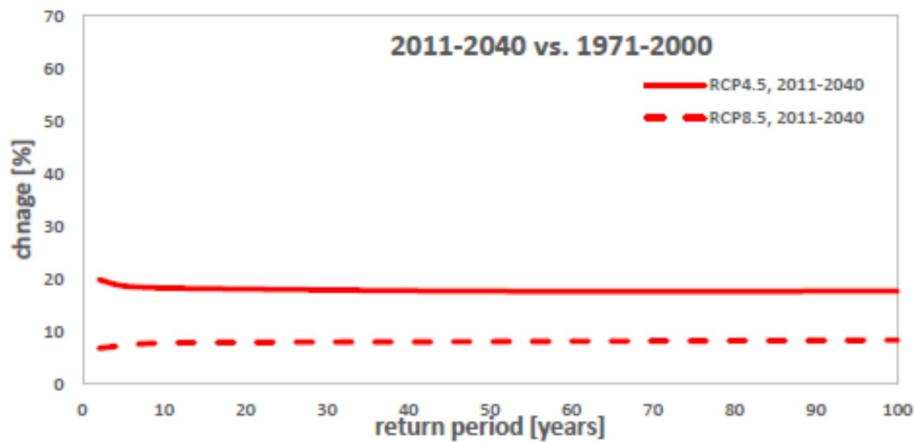


Figure 65: Projection à court terme de la variation en pourcentage de l'indicateur de débit (Alto Riu Mannu) pour les deux scénarios de concentration

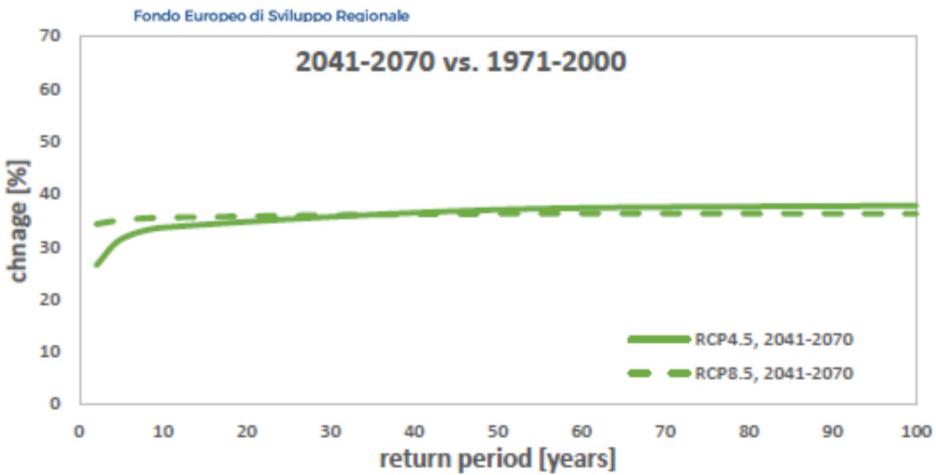


Figure 66: Projection à moyen terme de la variation en pourcentage de l'indicateur de débit (Alto Riu Mannu) pour les deux scénarios de concentration

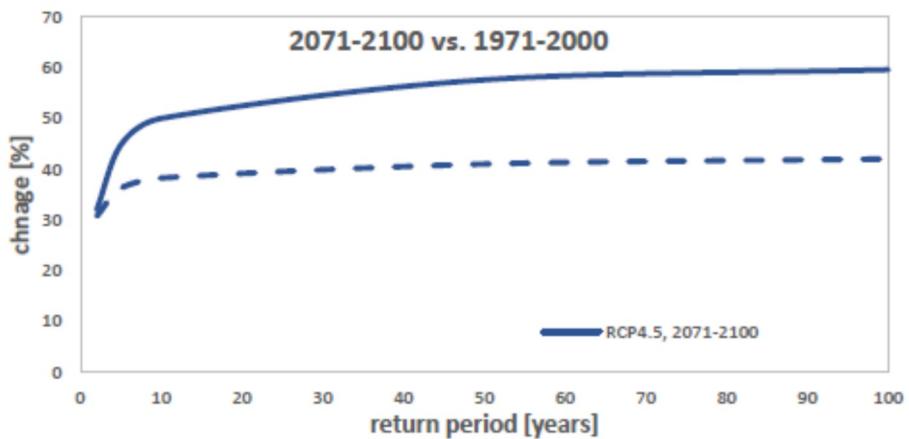


Figure 67: Projection à long terme de la variation en pourcentage de l'indicateur de débit (Alto Riu Mannu) pour les deux scénarios de concentration

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

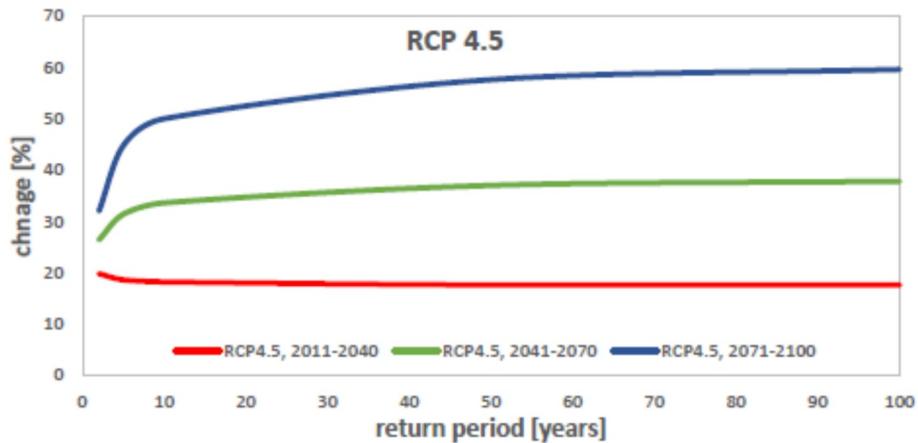


Figure 68: Comparaison des projections de la variation en pourcentage de l'indicateur de débit (Alto Riu Mannu) pour le scénario de concentration du CPR4.5

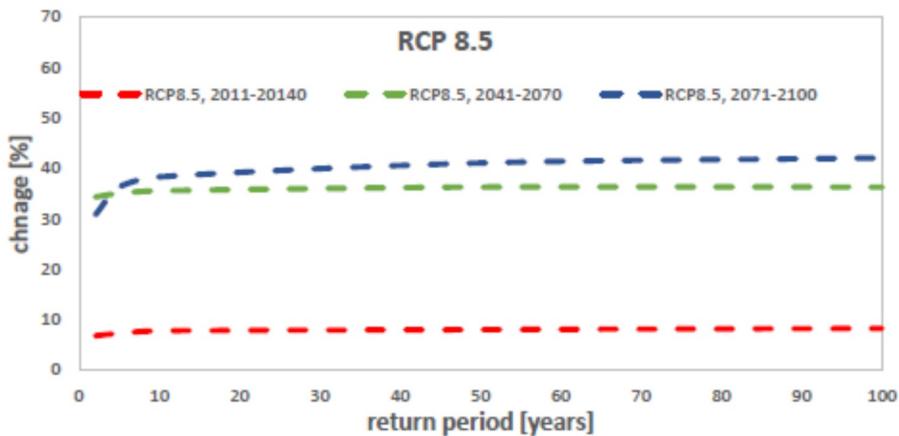


Figure 69: Comparaison des projections de la variation en pourcentage de l'indicateur de débit (Alto Riu Mannu) pour le scénario de concentration du CPR8.5

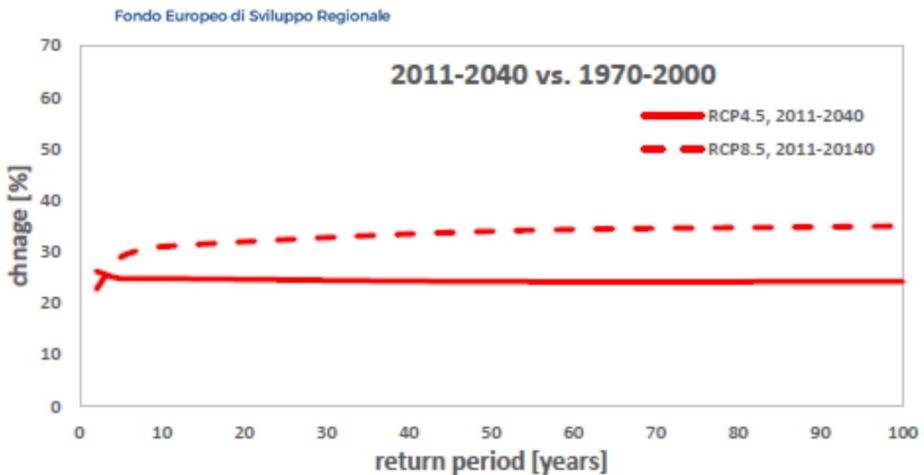


Figure 70: Proiezione a breve termine della variation en pourcentage dell'indicateur di portata (Basso Riu Mannu) per entrambi les scénariosdi concentration

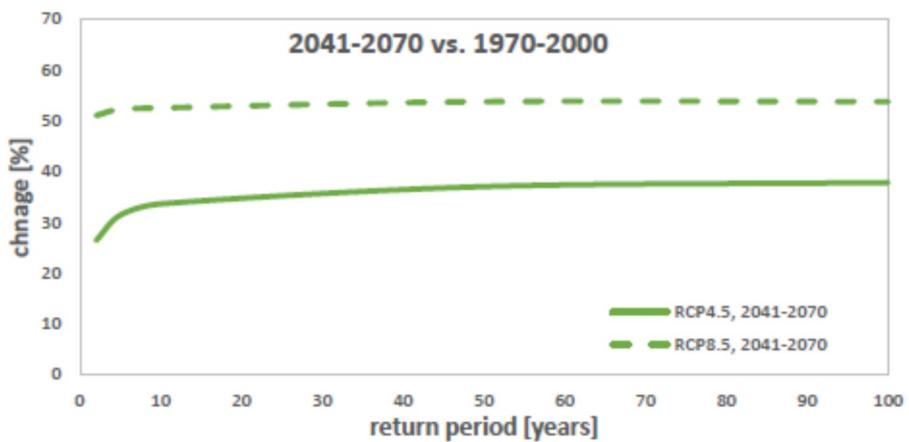


Figure 71: Projection à moyen terme de la variation en pourcentage de l'indicateur de débit (Basso Riu Mannu) pour les deux scénarios de concentration

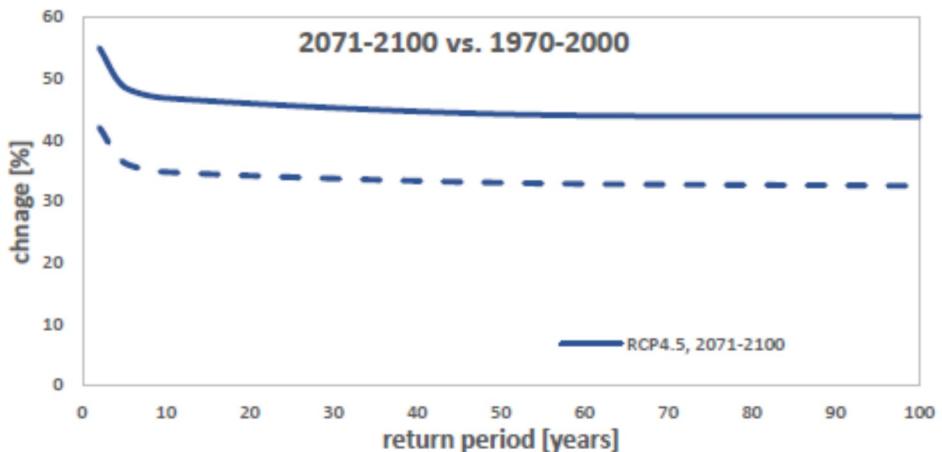


Figure 72: Projection à long terme de la variation en pourcentage de l'indicateur de débit (Basso Riu Mannu) pour les deux scénarios de concentration

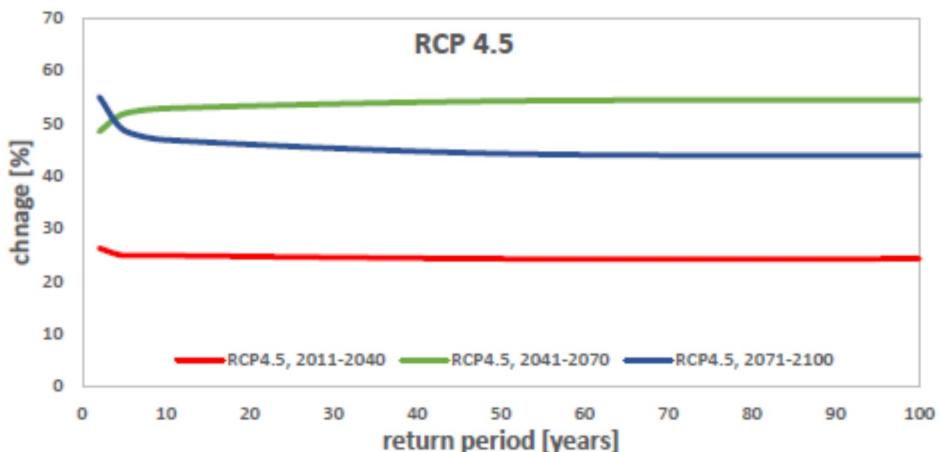


Figure 73: Comparaison des projections de la variation en pourcentage de l'indicateur de débit (Basso Riu Mannu) pour le scénario de concentration du CPR4.5

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

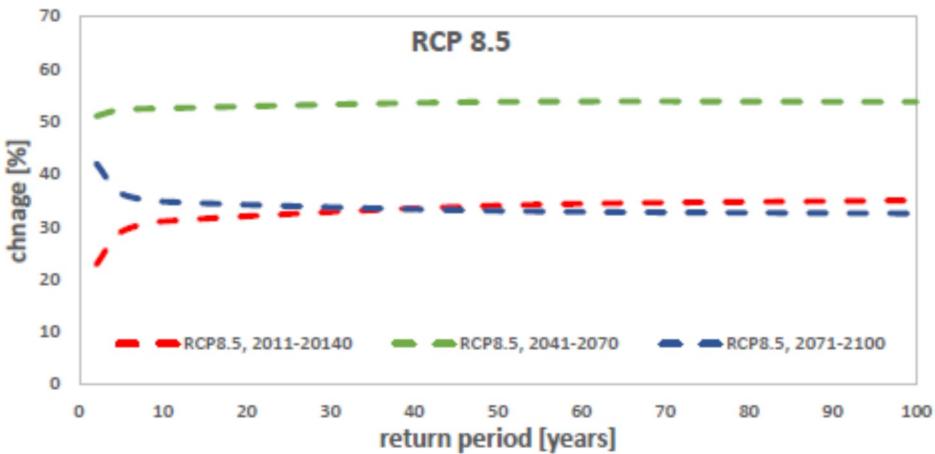


Figure 74: Comparaison des projections de la variation en pourcentage de l'indicateur de débit (Basso Riu Mannu) pour le scénario de concentration du CPR8.5

Les figures 65 à 74 montrent que, pour chaque scénario de concentration et chaque horizon temporel, la variation en pourcentage des débits annuels maximums dépend de plus en plus du temps de retour pour les faibles valeurs de ces derniers (environ jusqu'à  $T = 10$  ans), tandis que pour les valeurs plus élevées de  $T$ , les courbes montrent des caractéristiques horizontales. Il faut également noter que, dans un même scénario de concentration, l'indicateur de débit augmente dans la transition de l'horizon de court terme à l'horizon de long terme ; pour le scénario CPR4.5, cette croissance est homogène dans la transition d'un horizon à l'autre, alors que dans le scénario CPR8.5, les projections à moyen et long terme sont très proches l'une de l'autre, et nettement plus importantes, en termes de variation en pourcentage, que les projections à court terme. A horizon égal, en revanche, il existe une différence significative entre les paires de courbes pour les horizons court et long terme, pour lesquels, à période de retour identique, l'augmentation de la portée est plus importante pour le scénario CPR4.5 que pour le scénario CPR8.5 ; à horizon intermédiaire, en revanche, les deux courbes sont presque totalement superposées. Enfin, dans l'ensemble, les changements prévus de l'indicateur de crue ont une gamme de variabilité similaire entre les deux bassins, bien que les résultats soient également très différents pour certaines combinaisons de scénario de concentration et d'horizon temporel.

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

**Tableau 32. Résultats de l'application du modèle hydrologique (Alto Riu Mannu) pour la période de référence de trente ans**

Baseline		Reference period (1971-2000)			
		Annual maximum [m³/s]			
return period [years]		2	5	10	50
n=11	<b>EHYPE 2.1 average value</b>	18,12	27,48	33,69	47,34
	standard deviation	0,86	1,86	2,74	4,75
	maximum	19,37	30,80	38,38	55,05
	minimum	17,16	23,57	27,81	37,14

**Tableau 33. Projections à court terme de l'indicateur de crue (Alto Riu Mannu)**

Projection		Change 2011-2040			
		[%]			
return period [years]		2	5	10	50
n=5	<b>RCP4.5 average change</b>	19,80	18,60	18,20	17,60
	standard deviation of change	16,29	13,35	13,17	13,71
	maximum change	38,00	39,00	39,00	39,00
	minimum change	-5,00	-3,00	-2,00	-1,00
	agreement on sign of change	80%	80%	80%	80%
n=4	<b>RCP8.5 average change</b>	6,75	7,25	7,75	8,00
	standard deviation of change	14,18	21,04	24,82	29,44
	maximum change	19,00	40,00	48,00	57,00
	minimum change	-17,00	-16,00	-16,00	-15,00
	agreement on sign of change	75%	50%	50%	50%

**Tableau 34. Projections à moyen terme de l'indicateur de crue (Alto Riu Mannu)**

Projection		Change 2041-2070			
		[%]			
return period [years]		2	5	10	50
n=5	<b>RCP4.5 average change</b>	26,40	31,40	33,60	37,00
	standard deviation of change	12,89	23,40	27,52	33,45
	maximum change	39,00	65,00	75,00	90,00
	minimum change	3,00	-6,00	-9,00	-12,00
	agreement on sign of change	100%	80%	80%	80%
n=4	<b>RCP8.5 average change</b>	34,25	35,00	35,50	36,25
	standard deviation of change	21,44	31,68	36,31	42,35
	maximum change	71,00	82,00	86,00	91,00
	minimum change	17,00	5,00	1,00	-6,00
	agreement on sign of change	100%	100%	100%	50%

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

**Tableau 35. Projections à long terme de l'indicateur de crue (Alto Riu Mannu)**

Projection		Change 2071-2100			
		[%]			
return period [years]		2	5	10	50
RCP4.5 n=5	average change	32,00	44,80	50,00	57,60
	standard deviation of change	24,54	50,86	62,22	77,97
	maximum change	78,00	146,00	174,00	213,00
	minimum change	9,00	10,00	10,00	10,00
	agreement on sign of change	100%	100%	100%	100%
RCP8.5 n=4	average change	30,75	36,25	38,25	41,00
	standard deviation of change	10,28	18,17	21,48	25,84
	maximum change	45,00	56,00	60,00	67,00
	minimum change	16,00	10,00	8,00	5,00
	agreement on sign of change	100%	100%	100%	100%

**Tableau 36. Résultats de l'application du modèle hydrologique (Basso Riu Mannu) pour la période de référence de trente ans**

Reference period (1971-2000)					
Annual maximum [m³/s]					
return period [years]		2	5	10	50
EHYPE 2.1 n=11	average value	35,41	56,55	70,55	101,36
	standard deviation	2,45	5,17	7,15	11,63
	maximum	38,13	64,68	82,58	121,99
	minimum	31,31	51,11	63,02	89,25

**Tableau 37. Projections à court terme de l'indicateur de crue (Basso Riu Mannu)**

Projection		Change 2011-2040			
		[%]			
return period [years]		2	5	10	50
RCP4.5 n=5	average change	26,20	24,80	24,80	24,20
	standard deviation of change	8,98	14,96	16,99	20,11
	maximum change	37,00	48,00	52,00	57,00
	minimum change	16,00	7,00	5,00	1,00
	agreement on sign of change	100%	100%	100%	100%
RCP8.5 n=4	average change	22,75	29,00	31,00	34,00
	standard deviation of change	14,25	5,83	11,38	19,20
	maximum change	40,00	37,00	48,00	63,00
	minimum change	1,00	21,00	16,00	9,00
	agreement on sign of change	100%	100%	100%	100%

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Tableau 38. Projections à moyen terme de l'indicateur de crue (Basso Riu Mannu)

Projection		Change 2041-2070			
		[%]			
return period [years]		2	5	10	50
RCP4.5	average change	48,40	51,80	52,80	54,20
	standard deviation of change	17,58	16,38	15,74	15,70
	n=5 maximum change	70,00	73,00	73,00	75,00
	minimum change	19,00	24,00	26,00	28,00
	agreement on sign of change	100%	100%	100%	100%
RCP8.5	average change	51,00	52,25	52,50	53,75
	standard deviation of change	20,02	37,55	43,46	50,60
	n=4 maximum change	72,00	102,00	112,00	125,00
	minimum change	30,00	13,00	8,00	3,00
	agreement on sign of change	100%	100%	100%	100%

Tableau 39. Projections à long terme de l'indicateur de crue (Basso Riu Mannu)

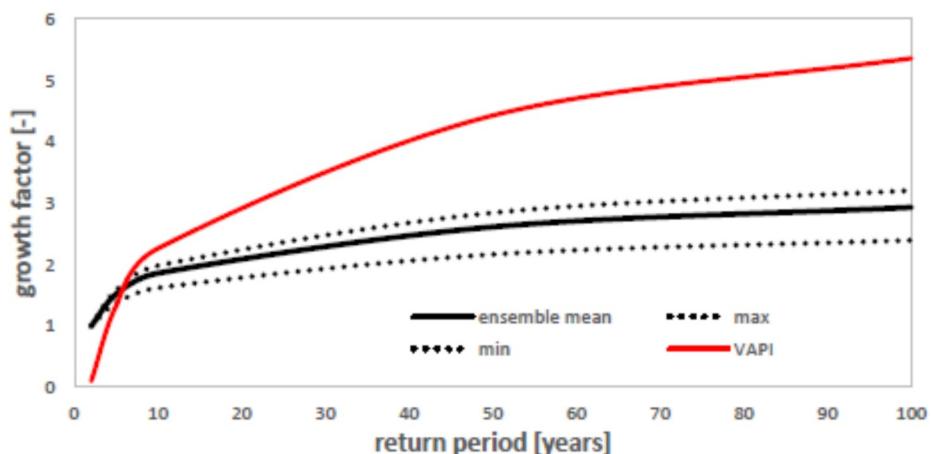
Projection		Change 2071-2100			
		[%]			
return period [years]		2	5	10	50
RCP4.5	average change	55,00	48,60	46,80	44,20
	standard deviation of change	22,39	22,45	23,33	24,33
	n=5 maximum change	97,00	82,00	78,00	74,00
	minimum change	36,00	23,00	19,00	14,00
	agreement on sign of change	100%	100%	100%	100%
RCP8.5	average change	42,00	36,25	34,75	33,00
	standard deviation of change	19,84	21,84	22,32	23,54
	n=4 maximum change	73,00	72,00	71,00	71,00
	minimum change	18,00	18,00	14,00	9,00
	agreement on sign of change	100%	100%	100%	100%

Bien que, à proprement parler, les crues extrêmes soient généralement quantifiées par une interprétation probabiliste des débits annuels maximums au pic de la crue, les débits journaliers maximums sont néanmoins considérés comme suffisamment représentatifs de ce phénomène (Zelenhasic & Salvai, 1987). A l'instar de ce qui a été dit pour les précipitations extrêmes, il semble donc utile de comparer la distribution fournie par la plate-forme C3S pour la période de référence avec une loi calibrée sur les observations disponibles pour le bassin en question. Cette comparaison permet

**La cooperazione al cuore del Mediterraneo**  
**La coopération au cœur de la Méditerranée**

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

d'estimer le biais existant entre le modèle climatique et la réalité, qui sera sans doute dû non seulement à l'incertitude liée aux modèles pour l'estimation des variables atmosphériques affectant le bilan hydrologique, mais aussi à celles liées à la quantification du processus flux entrants-sortants. En raison de l'absence d'observations de crues pour les bassins étudiés, la comparaison a été faite en termes de facteur de croissance adimensionnelle, en comparant les valeurs fournies par l'équation (4) avec celles obtenues en divisant la moyenne de l'ensemble pour la période de référence de trente ans par la valeur à  $T= 2$  ans, considérée comme approximativement représentative de la moyenne de la série. Le résultat de la comparaison est présenté en Figure 75 et Figure 76 pour les deux bassins de référence.



Figure

75: Courbe probabiliste du débit maximal annuel au pic de crue (VAPI) vs. distribution probabiliste du débit journalier maximal annuel (*ensemble mean* et gamme maximale de variation 1971-2000) en termes de facteur de croissance (Alto Riu Mannu)

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

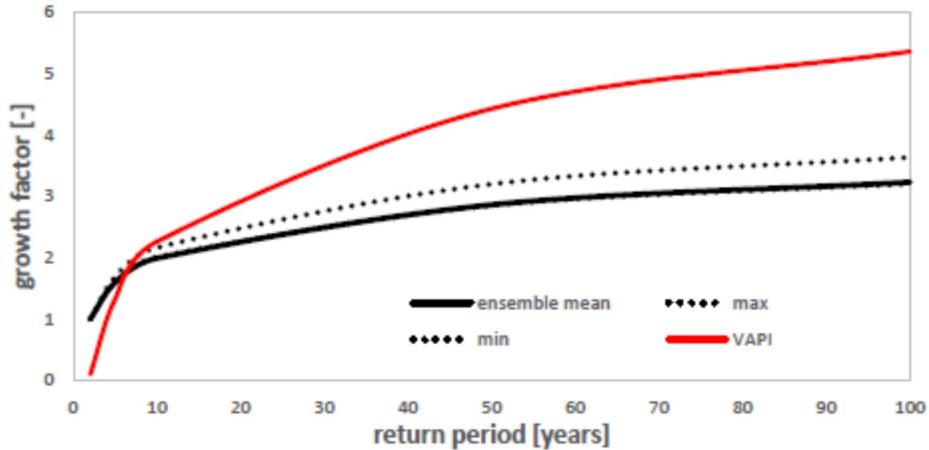


Figure 76: Courbe probabiliste du débit maximal annuel au pic de crue (VAPI) vs. distribution probabiliste du débit journalier maximal annuel (*ensemble mean* et gamme maximale de variation 1971-2000) en termes de facteur de croissance (Basso Riu Mannu)

L'analyse de la Figure 75 et Figure 76 montre qu'il existe un *biais* considérable entre la simulation effectuée par les modèles climatiques disponibles et la courbe évaluée à l'aide de la procédure VAPI. Ce *biais* est dû à une multiplicité de facteurs, dont les incertitudes mentionnées ci-dessus, mais aussi à la différence dans l'intervalle de temps d'estimation des deux courbes (qui, pour le modèle VAPI, commence avant 1971). Entre les deux bassins, au contraire, les courbes représentatives des résultats du modèle, en termes d'*ensemble mean*, sont très similaires, tandis que les plus grandes différences se situent dans la gamme maximale de variabilité. L'évaluation globale des données mises à disposition par la plate-forme C3S montre une grande complexité dans l'interprétation des variations induites par le changement climatique dans le régime des crues extrêmes des bassins étudiés. En particulier, il est clair que les variations prévues des précipitations ne se traduisent pas par des variations similaires du régime des crues, pour lequel le scénario de concentration CPR4.5 est plus critique que le scénario CPR8.5, alors que c'est l'inverse pour le régime des précipitations. En d'autres termes, **une forte augmentation de la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes ne se traduit pas par une augmentation aussi importante de la fréquence des inondations**. Une explication de cette disparité ne peut être trouvée que

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

dans les facteurs qui régulent le processus flux entrants et sortants; en d'autres termes, pour les événements extrêmes, les caractéristiques géomorphologiques et de couverture des sols concernés et les conditions antérieures à l'événement météorologique pourraient jouer un rôle prédominant dans le processus par rapport aux précipitations déclenchantes, d'autant plus si l'on note que, comme illustré ci-dessus, les valeurs de la hauteur des précipitations, pour des temps de retour même élevés, sont modestes pour les bassins d'intérêt. ***En définitive, il est clair que les modèles hydrologiques à grande échelle décrits ci-dessus doivent être complétés par une modélisation détaillée des bassins concernés afin de quantifier de manière plus fiable le régime extrême des crues dans un contexte de changement climatique.*** Les modifications apportées à ce régime, mises en évidence dans ce paragraphe, doivent en tout état de cause être considérées comme des indicateurs de la criticité future prévue.

## Annexe C

# Questionnaire pour le Plan d'adaptation aux changements climatiques pour le risque d'inondation

## Table des matières

Actions d'adaptation (identification et sélection)	168
Consultation publique	168
Repondants au questionnaire	168
Résultats	169
Adaptation	169
Mesures d'adaptation prioritaires	173
Participation	174

## Actions d'adaptation (identification et sélection)

### La consultation publique

Dans le cadre du processus de sélection des actions d'adaptation, la Municipalité de Sassari, avec le soutien de la Fondation CMCC, a ouvert un questionnaire à la consultation publique adressé aux citoyens et aux parties prenantes afin de présenter les principales actions identifiées pour faire face aux risques de changement climatique en relation avec les inondations urbaines et consolider un ensemble d'actions prioritaires à inclure dans le Plan.

Les réponses au questionnaire ont été analysées en fonction des principaux aspects d'intérêt : la perception des répondants concernant les changements climatiques en général, au niveau local, et la connaissance des instruments nationaux relatifs aux voies d'adaptation.

### Répondants au questionnaire

Le questionnaire a été rempli par 68 répondants, et a constaté une bonne participation des citoyens de la tranche d'âge 45-64 ans (42,6 % du total), suivie de la classe 30-44 (38,2 %). Des représentants de différentes catégories professionnelles ont participé à la compilation, en particulier des salariés (36,4 % du total), suivis des étudiants (18,2 %) et des indépendants (13,6 %).

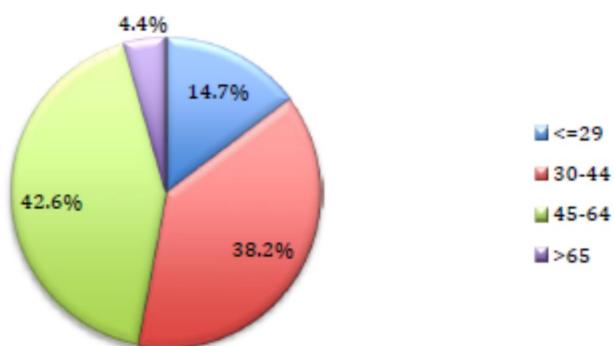


Figure 1 – Catégories d'âge des répondants au questionnaire administré

**La cooperazione al cuore del Mediterraneo**  
**La coopération au cœur de la Méditerranée**

## Résultats

### Adaptation

La première partie de l'auto-évaluation des connaissances sur l'adaptation au changement climatique montre une bonne connaissance du sujet (figure 2) et montre également un bon traitement de celui-ci au travail. En fait, selon 40 % du nombre total de répondants, le problème du changement climatique est "équitablement" traité dans leur travail, comme le montre la Figure 3. Selon 31,3 % des répondants, les changements climatiques influencent "assez" le secteur d'activité ; 26,9 % ont répondu de "beaucoup" à "énormément" tandis que 32,8 % ont trouvé peu d'influence (Figure 4).

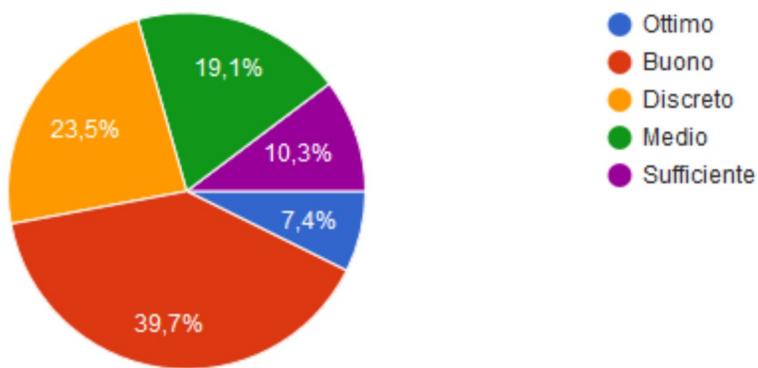


Figure 2 - Comment définiriez-vous votre niveau de connaissance du changement climatique ?



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

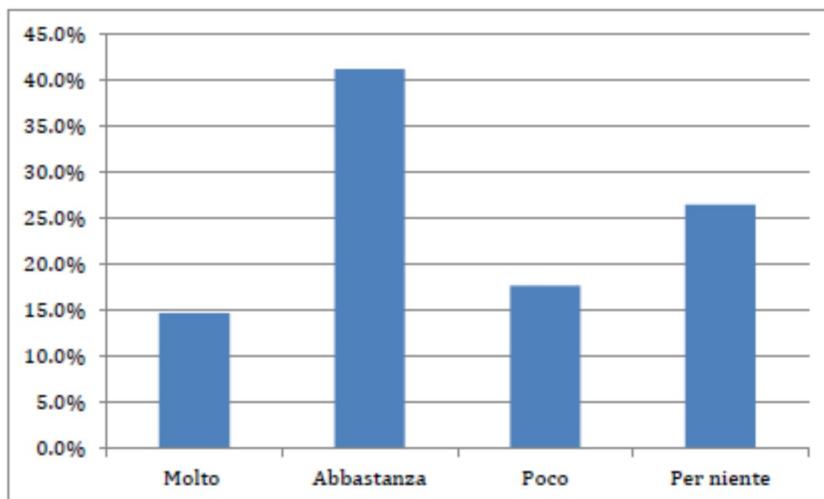


Figure 3 - Comment vous considérez le changement climatique dans votre travail?

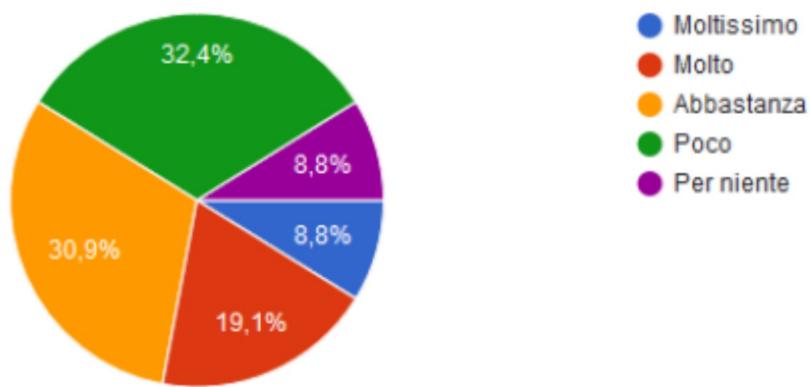
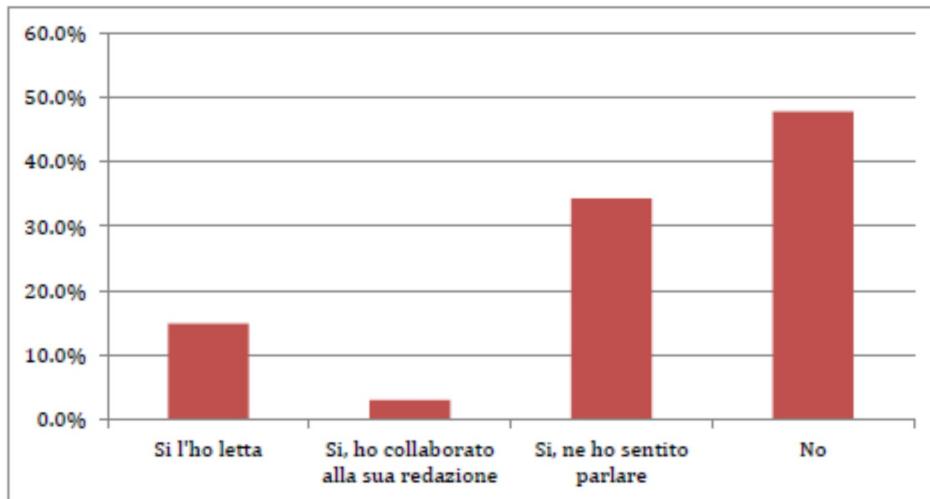


Figure 4 - Dans quelle mesure le changement climatique affecte-t-il votre secteur d'activité ?

Il ressort toutefois que la majorité des répondants au questionnaire ne connaissent ni la Stratégie d'adaptation aux changements climatiques ni le Plan national d'adaptation aux changements climatiques. En fait, 47,8 % (figure 5) ont répondu négativement à la question "Connaissez-vous le Plan national d'adaptation aux changements climatiques" et seulement 14,9 % l'ont lu. Ce résultat montre que les mesures nationales visant à décrire et à aborder le changement climatique ne sont pas perçues ou communiquées à la collectivité.

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Figure

#### 5 - Connaissez-vous le plan national d'adaptation aux changements climatiques?

Lorsqu'on a demandé aux répondants d'indiquer les impacts du changement climatique dans leur domaine d'activité, on leur a demandé d'indiquer les 5 les plus critiques. Jusqu'à 70,6 % des répondants ont indiqué que les phénomènes météorologiques extrêmes constituaient l'impact le plus critique. Les inondations causées par les crues et la dégradation et l'érosion des sols, qui ont toutes deux été signalées par un peu plus de 40 % des répondants, ont également été perçues de manière significative. La figure 6 montre les 5 impacts identifiés comme étant les plus critiques.

De plus, on a demandé aux répondants de définir le niveau de risque auquel la municipalité de Sassari est exposée par rapport aux inondations urbaines et la capacité de la ville à s'adapter au changement climatique par rapport à ce risque. Le niveau perçu est, pour 52,9 % des répondants, moyen. La partie restante est divisée également entre les niveaux élevé et faible, tandis que l'adaptabilité a été indiquée comme faible par 63,2 % des répondants (Figure 7).

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

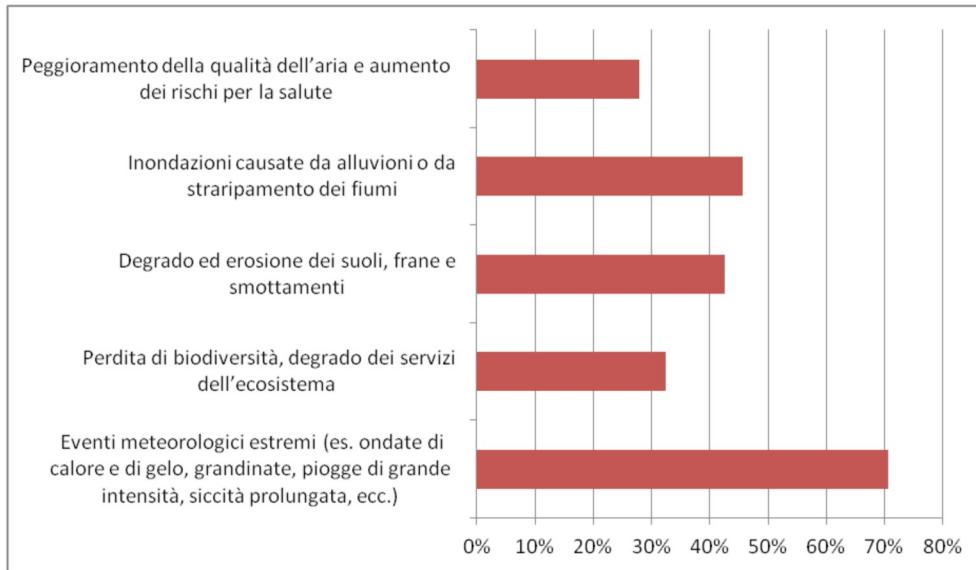


Figure 6 - Criticité des impacts du changement climatique dans son propre secteur d'activité

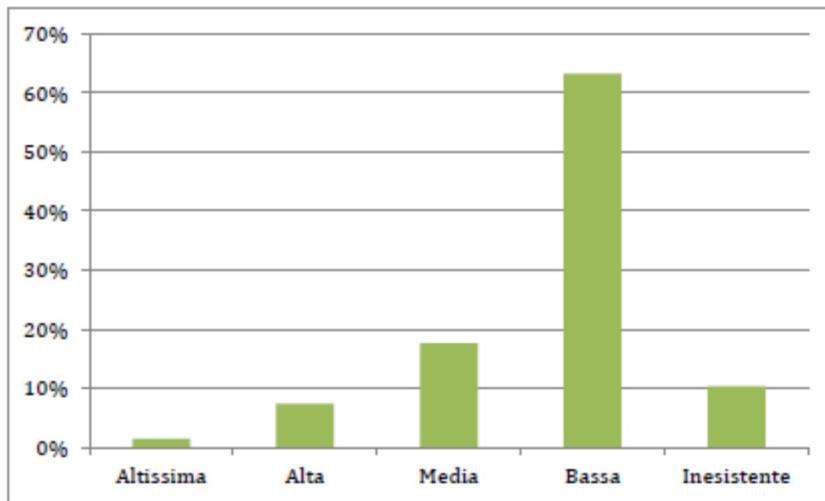


Figure 7 - Capacité d'adaptation au changement climatique de la ville de Sassari en référence au risque d'inondation urbaine selon les 67 répondants au questionnaire en ligne

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

### Mesures d'adaptation prioritaires

On a ensuite demandé aux répondants d'accorder un niveau d'importance à une liste de critères qui sont couramment utilisés pour classer les mesures d'adaptation par ordre de priorité. Les réponses montrent que les critères suivants sont considérés comme les plus importants:

- Atteindre le but pour lequel l'action a été mise en œuvre en ce qui concerne la réduction des impacts négatifs du changement climatique (**efficacité**);
- Critère d'**urgence**, c'est-à-dire que l'action vise à réduire les impacts jugés les plus dommageables et donc ceux qui doivent être traités en priorité en fonction des risques encourus par le système socio-économique;
- Existence d'opportunités “**win-win**”. L'action produit également des avantages en dehors du contexte de la réduction des impacts du changement climatique.

Sur la base des critères énumérés à la question précédente, les répondants ont été invités à indiquer les 10 actions qu'ils estiment que la municipalité devrait mettre en œuvre en priorité pour faire face au risque d'inondation urbaine. Dans la figure 8, les 6 actions qui sont indiquées comme prioritaires sont mises en évidence. Avec, respectivement, 76,5 % et 61,8 % des préférences, les actions suivantes se dégagent:

- Améliorer l'entretien et la gestion des cours d'eau ne relevant pas de la compétence des municipalités;
- Réunions de formation pour les citoyens, les autorités locales et les acteurs socio-économiques sur le système d'alerte.

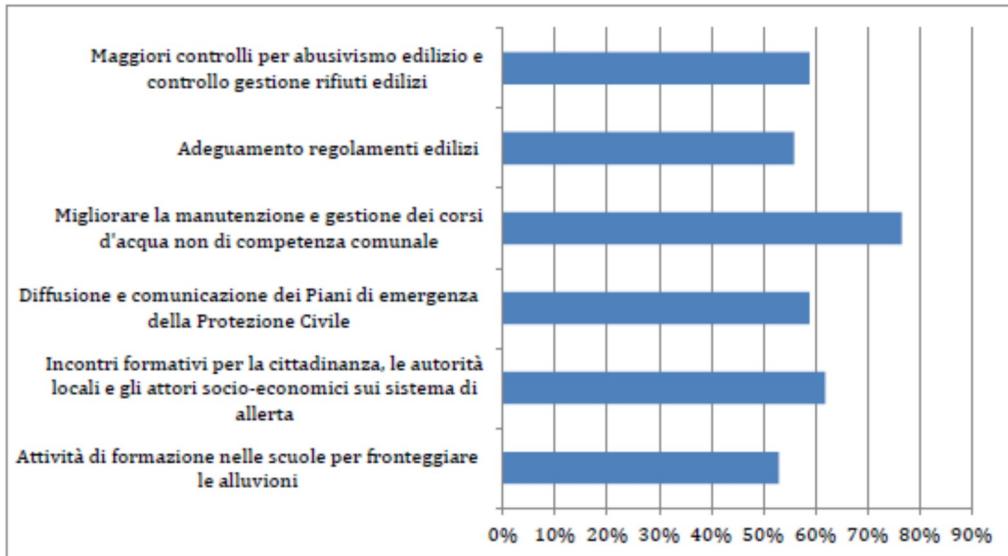


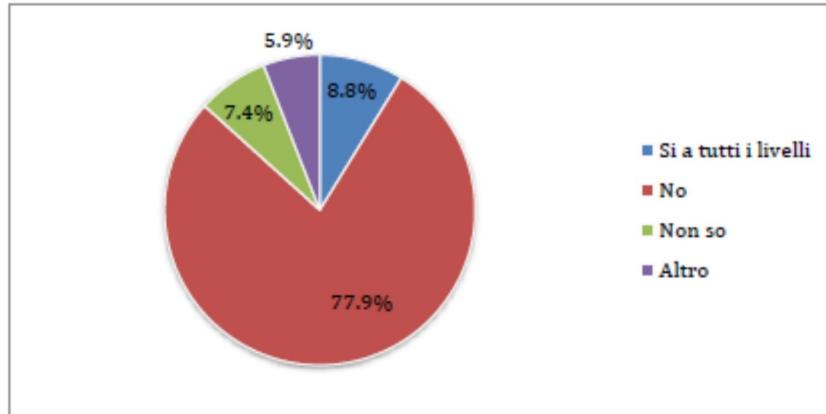
Figure 8 - Actions que la municipalité de Sassari devrait mettre en œuvre en priorité pour faire face au risque d'inondation urbaine

### Participation

La troisième partie du questionnaire concernait la diffusion d'informations sur les impacts du changement climatique et les mesures d'adaptation.

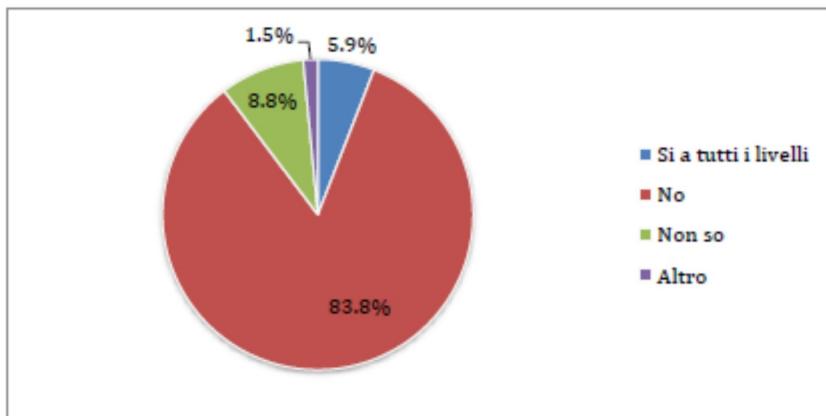
On a ensuite demandé aux répondants si, d'après leur expérience, l'information sur les impacts climatiques est suffisamment diffusée aux niveaux national, régional et local. Jusqu'à 77,9 % ont indiqué que cette information n'est pas suffisamment diffusée (Figure 9).

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



*Figure 9 – Considérez-vous que les informations sur les impacts du changement climatique sont suffisamment diffusées au niveau national, régional ou local?*

On a demandé aux répondants de répondre s'ils estiment que les mesures d'adaptation aux changements climatiques sont suffisamment diffusées au niveau national, régional ou local. Là encore, une majorité (83,8 %) a montré que cette information était insuffisamment diffusée (Figure 10).



*Figure 10 - Estimez-vous que les informations disponibles sur les actions d'adaptation au changement climatique sont suffisamment diffusées au niveau national, régional ou local?*

Compte tenu des questions précédentes, on a demandé si on savait que la municipalité avait mis en place le PUA (Partenariat urbain pour l'adaptation). Jusqu'à 67,6 % ont répondu négativement. Enfin, on a demandé aux répondants d'indiquer, avec un degré

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

de préférence de 1 à 5, dans quelle mesure et quels canaux d'information contribuent à transmettre l'information sur les changements climatiques. Les préférences exprimées montrent que les médias sociaux et les moteurs de recherche en ligne sont les plus influents.

Enfin, on a demandé de définir un degré d'intérêt à participer à l'identification des actions d'adaptation au changement climatique pour la municipalité de Sassari. La majorité des répondants ont exprimé un degré d'intérêt élevé (72,1 %). La forme de participation privilégiée semble être la participation aux réunions publiques, suivie des enquêtes par questionnaire, tandis que l'intérêt est moyennement élevé en ce qui concerne la participation aux tables thématiques et aux activités de diffusion sur le territoire. Ces informations seront certainement utiles lors des phases de mise en œuvre et de mise à jour du Plan d'Adaptation.