



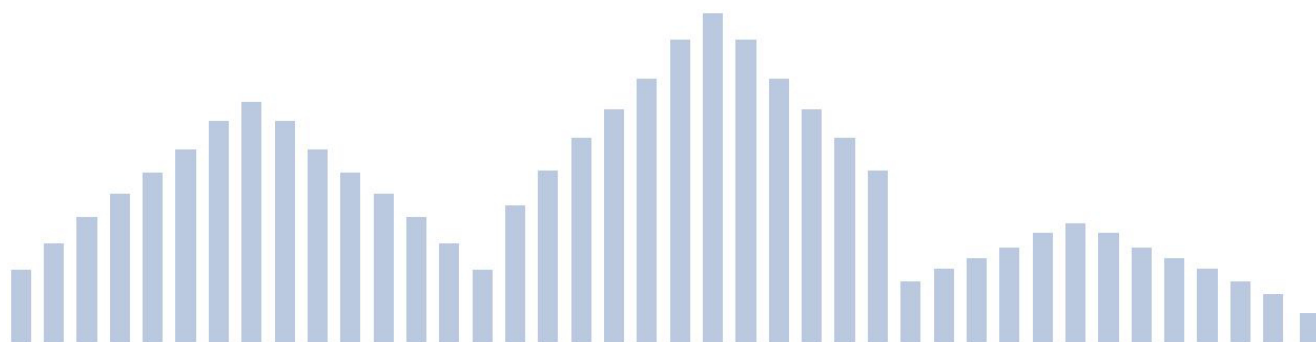
Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Plan local d'adaptation au changement climatique pour le risque d'inondation de la municipalité de Livourne



COMUNE DI LIVORNO

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



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale





Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



TRAVAIL D'ÉQUIPE

Responsable du secteur Environnement et mobilité

Dr. Leonardo Gonnelli

Chef du Bureau pour la protection des terres, les énergies renouvelables et la lutte contre le changement climatique et coordinateur du travail d'équipe du plan d'adaptation au changement climatique pour le risque d'inondation de la ville de Livourne

Dr. Alessio Tanda

Bureau pour la protection des terres, les énergies renouvelables et la lutte contre le changement climatique

Dr.ssa Licoris Toncinich, Dr.ssa Sara Bracaloni, Dr.ssa Francesca Nieto, Geom. Andrea Corsaro

Groupe de travail de la municipalité de Livourne

Michele Danzi, Barbara Saliva, Stella Savi, Maria Rosaria Guerrini, Michela Cecconi, Valerio Spinetti, Alberto Ughi, Federico Giuntoli, Stefano Ciampi, Katia Le Rose, Simonetta Lenzi, Sabrina Pellegrino, Rosalba Minerva, Francesco Repetti, Fabrizio Mori, Gianni Cavallini, Massimo Poli, Mirco Branchetti, Valeria Bertodo, Vanio Pellegrini, Daniele Agostini, Adriano Podenzana, Melania Lessi, Michela Pedini, Lorenzo Lazzerini, Antonietta Calzone, Antonello Battaglia.

Collaborateurs

Dr. Alessandro Zaldei, Dr. Lorenzo Brilli e Dr. Giacomo Fontanelli dell'Istituto per la Bioeconomia del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-IBE)

Studio Forestale Andrea Dani.

Communication et marketing environnementaux

Andrea Valenti



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale





Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Index général

Avant-propos.....	7
1 Introduction	9
2 Cadre juridique.....	13
3 Analyse des criticités locales.....	15
3.1 Classification territoriale.....	15
3.2 Hydrographie	15
3.3 Risque hydraulique	17
3.4 L'événement extrême des 9 et 10 septembre 2017.....	20
3.5 Nouvelle analyse des inondations.....	23
3.6 Risque hydraulique après une inondation.....	26
3.7 Interventions après les inondations	29
3.7.1 Interventions entreprises par la municipalité de Livourne.....	29
3.7.2 Interventions entreprises par la région Toscane.....	29
3.8 Criticités.....	30
4 Profil climatique local de la municipalité de livourne.....	35
4.1 Le climat de la région Toscane et des zones côtières.....	35
4.2 Analyse climatique: période actuelle.....	37
4.3 Analyse climatique: scénarios futurs.....	50
4.4 Conclusions.....	60
5 Analyse de l'impact du changement climatique sur les principaux problèmes locaux.....	62
5.1 Étude des précipitations dans la région	63
5.2 Le changement climatique au niveau local.....	63
5.3 Modélisation des simulations.....	65
5.4 Le modèle hydraulique	66
5.5 Résultats	72
6 Actions d'adaptation	76



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



6.1 Objectifs d'adaptation.....	76
6.2 Action pilote de la municipalité de Livourne	79
6.3 Fiches d'action pour l'adaptation	80
7 Mise en œuvre des actions, suivi et évaluation.....	83
7.1 Mise en œuvre des actions.....	83
7.2 Suivi, évaluation et rapports sur les actions	85
7.2.1 Le système de contrôle.....	86
7.2.2 Le système de déclaration	101
8 Conclusions	102
Bibliographie.....	110



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Avant-propos

Depuis au moins vingt ans, des scientifiques de renommée mondiale s'occupent du changement climatique, mais le thème, qui implique tous les habitants de la Terre et qui se traduit par un défi contre le temps, a été mis en avant récemment, notamment grâce au vif intérêt et à la contribution des jeunes. Même si la mobilisation sur le changement climatique est un appel à la solidarité entre les générations, ce sont les jeunes générations qui réclament des actions plus incisives et plus urgentes à leurs gouvernements sur la question, ce sont les jeunes qui sont descendus dans la rue pour crier leur préoccupation sous la devise de *"Skolstrejk för klimatet"*.

Le contraste et l'adaptation au changement climatique, qui sont des défis fondamentaux pour la permanence d'habitats acceptables sur notre planète, dépassent de loin les frontières des nations et constituent un exemple concret de la manière de traiter certaines questions. L'Union européenne nous permet d'aborder ces questions au niveau systémique et de jouer un rôle de premier plan dans les efforts visant à faire progresser un programme de durabilité ambitieux.

Un élément essentiel est l'approche selon laquelle les solutions possibles au réchauffement climatique et à ses conséquences ne sont pas seulement placées dans une attitude "globale" ; même un État, une région, une ville, voire une personne peut changer de cap pour rendre le monde plus durable.

Quand j'étais enfant, l'un des livres qui m'a le plus fasciné était celui qui racontait les aventures de Don Quichotte où un grand soldat de petite taille, un peu facile à vivre et assisté de son fidèle Sancho, se jetait contre ces moulins à vent monolithiques avec une



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



véhémence et une ténacité sans pareilles. Mais comment ? Je me suis demandé comment est-il possible pour un homme d'armes et d'intelligence de se jeter sur quelque chose d'impossible à battre. Rétrospectivement, c'est ce que l'on pense du changement climatique, que les scientifiques du monde entier s'obstinent aujourd'hui à divulguer.

Maintenant que je suis devenu maire de Livourne, je me souviens précisément de ces moulins à vent qui ressemblent métaphoriquement à ce défi décisif et je me demande s'il ne vaut pas la peine d'essayer de les combattre avec toute notre force et notre passion en tant qu'Européens.

Le programme Interreg-ADAPT dont Livourne est partenaire, avec un tournant décisif pour le Conseil municipal, a créé des conditions solides pour la rédaction du premier Plan d'adaptation au changement climatique pour le risque d'inondation. Ceci dans l'idée que cet outil important et innovant stimule la comparaison et le partage entre toutes les parties et peut contribuer à une planification intégrée de notre ville.

D'autant plus si l'on revit un instant les images de la ville blessée lors de l'inondation de septembre 2017. Si la mémoire est la marque de l'espèce humaine, la ville doit néanmoins saisir l'avenir et surmonter ses peurs. Nous devons nous organiser, nous améliorer, nous préparer soigneusement. L'engagement est de combattre les moulins à vent monolithiques du changement climatique avec la conviction que même une autorité locale peut faire sa part.

Le maire de Livorno

Luca Salvetti



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



1. Introduction

Les preuves scientifiques du changement climatique peuvent être observées à grande échelle, avec l'augmentation des températures moyennes mondiales de l'air et des océans, les changements dans la fréquence et l'intensité des précipitations, la fonte et/ou la réduction de l'étendue de la neige et des glaciers, l'augmentation du niveau moyen mondial de la mer et l'intensité et la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes tels que les sécheresses et les vagues de chaleur.

Indépendamment des scénarios futurs de changement climatique et des efforts de réduction des émissions de gaz à effet de serre, le dernier rapport spécial du GIEC (GIEC, 2018) affirme que ces changements se poursuivront dans les années à venir, avec la seule possibilité de les réduire partiellement en limitant le réchauffement climatique à +1,5°C par rapport aux conditions préindustrielles. Toutefois, les conséquences du changement climatique ne sont pas sans ambiguïté, mais varient d'une région à l'autre en fonction des différentes conditions climatiques, géographiques et socio-économiques.

Parmi les différents secteurs touchés par le changement climatique, les zones urbaines sont certainement celles qui présentent un risque important. Le changement climatique, en particulier lorsqu'il affecte des valeurs ou des phénomènes météorologiques extrêmes, peut avoir de graves conséquences au sein des villes, avec des répercussions importantes sur : les systèmes de transport, les systèmes d'égouts, les systèmes de distribution alimentaire, la santé publique, la disponibilité et la qualité de l'eau, la consommation d'énergie.

À ce jour, l'une des principales criticités environnementales et territoriales est liée à l'instabilité hydrogéologique, c'est-à-dire au risque d'événements liés aux glissements de terrain et aux inondations. En particulier, l'importance de ces dernières a fortement augmenté ces dernières années, en raison également de la relation étroite avec les



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



changements climatiques liés aux précipitations atmosphériques, à leur fréquence et à leur intensité. Les inondations sont parmi les manifestations les plus typiques de l'instabilité hydrogéologique ; elles se produisent dans certaines zones lorsque les eaux d'un fleuve ne sont pas contenues par les berges et se déversent dans la zone environnante. Malheureusement, l'impact des inondations, en plus de causer des dommages aux bâtiments, aux implantations industrielles, aux voies de communication, aux zones agricoles, implique également des budgets importants en termes de pertes de vies humaines.

Les inondations sont des phénomènes naturels qui se produisent dans les bassins fluviaux et sont caractérisées par des temps de développement spécifiques aux inondations, qui varient dans un ordre de temps variable selon le type et la taille du bassin lui-même. Bien que ces phénomènes puissent être considérés comme naturels, l'une des causes de la fréquence accrue des inondations est la forte anthropisation et la fermeture généralisée du territoire. Ces deux actions menées par l'homme "distrain" empêchent l'infiltration de la pluie dans le sol et favorisent par conséquent l'augmentation de la quantité et de la vitesse de l'eau qui s'écoule vers les rivières. Cette dynamique peut également aggraver l'événement en raison du manque de propreté des débris et de la végétation dans le lit des rivières.

Afin de limiter l'impact de ces phénomènes, **l'adaptation** au changement climatique est une approche qui a pris de plus en plus d'importance ces dernières années, y compris au niveau européen. Cependant, la planification de l'adaptation est un défi très complexe car de nombreuses disciplines différentes sont impliquées et les différents organismes ne travaillent pas toujours en parfaite coordination les uns avec les autres. Le dernier rapport du GIEC indique que les politiques et les mesures d'adaptation sont plus efficaces lorsqu'elles sont menées au niveau régional et local, de sorte qu'il est possible de concevoir des actions réussies si, avant tout, elles sont partagées.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



L'exposition aux risques, la vulnérabilité et la capacité d'adaptation sont par nature territoriales, stationnaires et spécifiques à un lieu donné, et bon nombre des effets du changement climatique se feront sentir sur les services et les infrastructures, de sorte que les gouvernements locaux ont une responsabilité première. À cet égard, la plupart des mesures devraient :

1. se rapportent à des conditions spécifiques au site avec un emplacement précis ;
2. tenir compte d'un horizon temporel moyen-long afin de planifier et en planifiant les meilleures interventions sur le territoire ;
3. prendre en compte les projections prévues en matière de changement climatique ;
4. comprennent également des activités qui tiennent compte des dangers possibles à court terme qui sont donc attribuables à des pratiques spécifiques de gestion des risques.

La planification de l'adaptation n'est pas sans ambiguïté, mais concerne plusieurs sujets ou questions d'application. Les sujets peuvent varier en fonction de l'échelle d'analyse et compte tenu des ressources en données, des outils et des compétences disponibles. En outre, chacune de ces approches doit être comprise comme évolutive et dynamique et nécessite donc un calibrage spécifique qui demande des mises à jour ou des mises en œuvre continues et périodiques des plans d'adaptation. Par conséquent, un plan d'adaptation nécessite des approches méthodologiques dynamiques et évolutives en fonction des études de cas de risques et son élaboration doit donc également tenir compte des suggestions de l'ensemble de la communauté qui doit choisir l'approche la plus fonctionnelle en fonction de ses besoins.

En général, il est possible de réduire les risques de conséquences négatives découlant des inondations, à la fois par des interventions structurelles telles que des digues, des réservoirs de rétention, des canaux de déversement, et par des interventions non structurelles, comme celles pour la gestion des terres ou la gestion des urgences. Dans



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ce dernier cas, la prédisposition du système d'alerte, l'élaboration de plans d'urgence, la réalisation d'un système efficace de coordination des activités prévues dans les plans eux-mêmes sont fondamentales.

En particulier, un système d'alerte efficace basé sur des modèles de prévision reliés à un réseau de surveillance est essentiel pour que les organes institutionnels compétents, présents sur le territoire, puissent agir le plus tôt possible et réduire l'exposition des personnes aux événements afin de limiter les dommages aux personnes et aux choses par la mise en œuvre de mesures de prévention en temps réel. A titre d'exemple seulement, on peut citer les activités du contrôle hydraulique du territoire et la régulation des débits des réservoirs présents dans le bassin pour laminer les flux de crue.

À ce jour, la création et l'élaboration de plans d'adaptation aux inondations constituent une étape clé pour contrer les effets du changement climatique. De nombreuses villes européennes se sont déjà équipées de cet outil de pointe, notamment Londres, Copenhague et Bratislava.

Sur cette base, en tenant compte également des inondations survenues dans la municipalité de Livourne en septembre 2017, qui ont fait neuf victimes et causé des millions d'euros de dommages, ce Plan d'adaptation au risque d'inondation a été proposé selon les lignes directrices fournies dans le projet "ADAPT". Cet outil de planification transversal a été créé dans le but de fournir à l'administration municipale une approche pour l'analyse, l'évaluation et la gestion consciente des risques découlant des phénomènes d'inondation dans le cadre de l'évolution continue du changement climatique.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



2. Cadre juridique

La principale référence au niveau européen en matière d'inondations est la directive 2007/60/CE du 23 octobre 2007 sur les inondations. Elle établit un cadre commun pour l'évaluation et la gestion des risques d'inondation afin de réduire les conséquences négatives sur tous ces aspects, en tenant également compte de l'effet probable du changement climatique.

Contrairement à d'autres pays européens, l'Italie est depuis un certain temps dotée d'une législation nationale composée principalement de la loi n° 183 de 1989 et de la loi n° 267 de 1998. Par ces lois, grâce à la création des Autorités de Bassin, l'Italie a depuis longtemps intégré l'évaluation du risque hydraulique dans les différents systèmes gouvernementaux du territoire. Cela a permis à notre pays de développer une voie technique, scientifique et opérationnelle de grande importance pour la transposition et la mise en œuvre de la directive européenne, même en comparaison avec d'autres États membres.

Toutefois, pour comprendre l'ensemble de la législation, il est nécessaire de comprendre la signification de certaines définitions étroitement liées au décret législatif 49/2010 et donc applicables au contexte des inondations :

- Risque d'inondation : probabilité d'occurrence d'une inondation dans un intervalle de temps prédéterminé et dans une certaine zone.
- Risque d'inondation : la combinaison de la probabilité qu'une inondation se produise et des conséquences négatives potentielles pour la santé humaine, le territoire, les biens, l'environnement, le patrimoine culturel et les activités économiques et sociales.

Il est utile d'ajouter à ces définitions celles des autres composantes qui contribuent à la définition du risque, pour lesquelles il est fait référence aux lignes directrices opérationnelles pour la mise en œuvre de la directive 2007/60/CE (MATTM, 2013 ; 2017) :



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



- Exposition : personnes et/ou biens (logements, installations, infrastructures, etc.) et/ou activités (économiques, sociales, etc.) exposés à un événement naturel.
- Vulnérabilité : degré de capacité (ou d'incapacité) d'un système/élément à résister à un événement naturel.
- Damage potentiel : degré de perte prévisible résultant d'un phénomène naturel d'une intensité donnée, fonction à la fois de la valeur et de la vulnérabilité de l'élément exposé.
- Capacité d'adaptation : capacité d'un système (nation, communauté, groupe) à adapter ses caractéristiques aux conditions climatiques présentes et/ou futures et à réduire le niveau de vulnérabilité, en fonction de contextes biophysiques, sociaux, économiques, technologiques et politiques dynamiques spécifiques.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



3. Analyse des criticités locales

3.1 Classification territoriale

La municipalité de Livourne s'étend sur une superficie de 104,79 kilomètres carrés et est bordée à l'ouest par la mer, à l'est par les Monti Pisani, au sud par les territoires de la municipalité de Rosignano et au nord par les territoires de la municipalité de Collesalveti. Le terrain est plat dans la zone côtière centrale et au nord, avec la présence, au sud et à l'est, des collines de Livornesi (altitude maximale Poggio Lecceta, 462 mètres au-dessus du niveau de la mer).

La zone urbanisée s'étend sur environ 40,0 km² ; dans la municipalité de Livourne, on trouve l'île de Gorgona (2,23 km² à 37 km de la côte de la ville) et la Secche della Meloria à quelques kilomètres devant le port.

3.2 Hydrographie

La zone est généralement constituée de pentes douces, seulement occasionnellement accentuées, et est traversée par un réseau hydrographique composé de plusieurs cours d'eau à débit modeste avec un parcours est-ouest dans la partie sud, et sud-est/nord-est dans la partie nord.

En bref, les Monti Livornesi sont traversés par deux grands bassins versants, presque perpendiculaires entre eux et, sur les quatre secteurs déterminés par les bassins versants, les deux occidentaux touchent la bande côtière. Dans le secteur nord, les cours d'eau terminent leur parcours canalisé dans la zone la plus déprimée de la plaine. Les plus importants sont le torrent Ugione et ses affluents de gauche :



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Rio Paganello, Rio Puzzolente, Rio Vallelunga et Rio Cigna (en plus du Rio Riseccoli qui est enterré et transformé en égout blanc depuis la fin du XIXe siècle).

Dans le secteur central, le Rio Maggiore, le Botro Feliciaio et le Rio Popogna-Ardenza traversent la zone de haute montagne en direction du nord-ouest, s'incurvant vers l'ouest au niveau de la plaine pour se jeter dans le littoral en direction sus-perpendiculaire. En plus de ceux-ci, il existe d'autres petits ravins qui affectent le hameau d'Antignano, dont la Fosso della Banditella.

Dans le secteur centre-nord, du torrent Ugione au Rio Ardenza, les cours d'eau sont bien développés et dotés d'un réseau évident et de toute une série de petits affluents dans les parties supérieures du bassin.

Les réseaux de drainage ci-dessus traversent la partie supérieure de la municipalité et atteignent la plaine dans une direction nord-ouest et ouest.

Les réseaux de drainage qui s'écoulent au contraire vers le sud-ouest sont, parmi les principales, Fosso del Maroccone, Botro Calafuria, Botro Calignaia, Fosso del Rogiolo, Botro Quercianella, Fosso della Madonnina et enfin Torrente Chioma.

Dans la zone côtière, Antignano-Romito-Quercianella ravins et ruisseaux creusent d'étroites vallées dans la roche, avec une forte pente. Dans ce secteur, le régime est torrentiel, fortement conditionné par des périodes de pluie prolongées, avec une nette différence entre les périodes de crue et les périodes d'étiage. Dans ces périodes les ruisseaux sont presque secs, contrairement aux cours les plus importants du secteur nord, tels que l'Ugione, le Rio Maggiore et le Rio Ardenza, qui présentent une certaine circulation superficielle de l'eau même en période d'étiage, ayant probablement un taux de recharge de la nappe phréatique qui est inversé lors des inondations.

Les cours d'eau, fossés et ravins mentionnés ci-dessus constituent le réseau hydrographique identifié par la loi régionale n° 79 du 27 décembre 2012. La dernière modification a été approuvée par la résolution du Conseil R.T. 20/2019.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



En ce qui concerne l'aménagement du territoire, la présence des ravins susmentionnés et les problèmes critiques qui y sont liés, l'objectif prioritaire du gouvernement du territoire est de réduire et de gérer le risque hydrogéologique en visant non seulement à réduire la fréquence et l'intensité des événements (dangerosité), mais aussi à gérer judicieusement l'aménagement du territoire afin d'éviter, de prévenir et donc de limiter les dommages liés à ces événements.

3.3 Risque hydraulique

Depuis 1994 (année où le premier plan structurel a été élaboré), la municipalité de Livourne s'est intéressée au thème du risque hydraulique et géomorphologique en réalisant des cartographies thématiques spécifiques, examinées et approuvées par les ingénieurs civils.

Celles-ci constituent le point de départ du prochain plan de structure hydrogéologique.

La municipalité de Livourne a mis en œuvre le plan de structure hydrogéologique par la résolution du conseil municipal n° 136 du 25 juillet 2008.

Selon le PAI, le niveau requis pour la réduction du risque hydraulique se réfère à des débits avec un temps de retour de 200 ans.

Le 17 décembre 2015, avec les résolutions du Comité institutionnel n° 231 et 232, le Plan de gestion des risques d'inondation (PGRA) a été adopté avec l'application des mesures de sauvegarde, approuvées ensuite sous forme définitive avec la résolution du Comité institutionnel n° 235 du 3 mars 2016.

Le PGRA représente un important élément d'innovation dans la mesure où il remplace entièrement le PAI en ce qui concerne les risques et les dangers d'inondation.

Le règlement PGRA reprend les dispositions du règlement PAI en ce qui concerne plus particulièrement les dispositions du "Chapitre I - Risque hydraulique".

En ce qui concerne la dangerosité, trois scénarios de référence (probabilité d'inondation



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



élevée, moyenne et faible) ont été identifiés dans le PGRA, en liaison avec les procédures d'homogénéisation indiquées dans les lignes directrices opérationnelles (MATTM, 2013) et sans perdre la cohérence technique avec le PAI.

Il a été fait référence à la classification suivante pour le plan de gestion des risques d'inondation :

- P1 : aux événements ayant un temps de retour $Tr \leq 500$ ans ;
- P2 : aux événements ayant un temps de retour $Tr \leq 200$ ans ;
- P3 : aux événements ayant un temps de retour $Tr \leq 30$ ans.

Le nouveau plan structurel 2, approuvé par la résolution du conseil municipal n° 75 du 7 avril 2019, a été élaboré sur la base d'études hydrauliques spécifiques, réalisées sur l'affectation directe de la région compétente Toscane suite à l'inondation qui a touché le territoire municipal les 9 et 10 septembre 2017. Ces études ont conduit à la définition d'une nouvelle image des inondations, en particulier pour tous les cours d'eau qui ont une forte interaction avec l'environnement urbain.



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

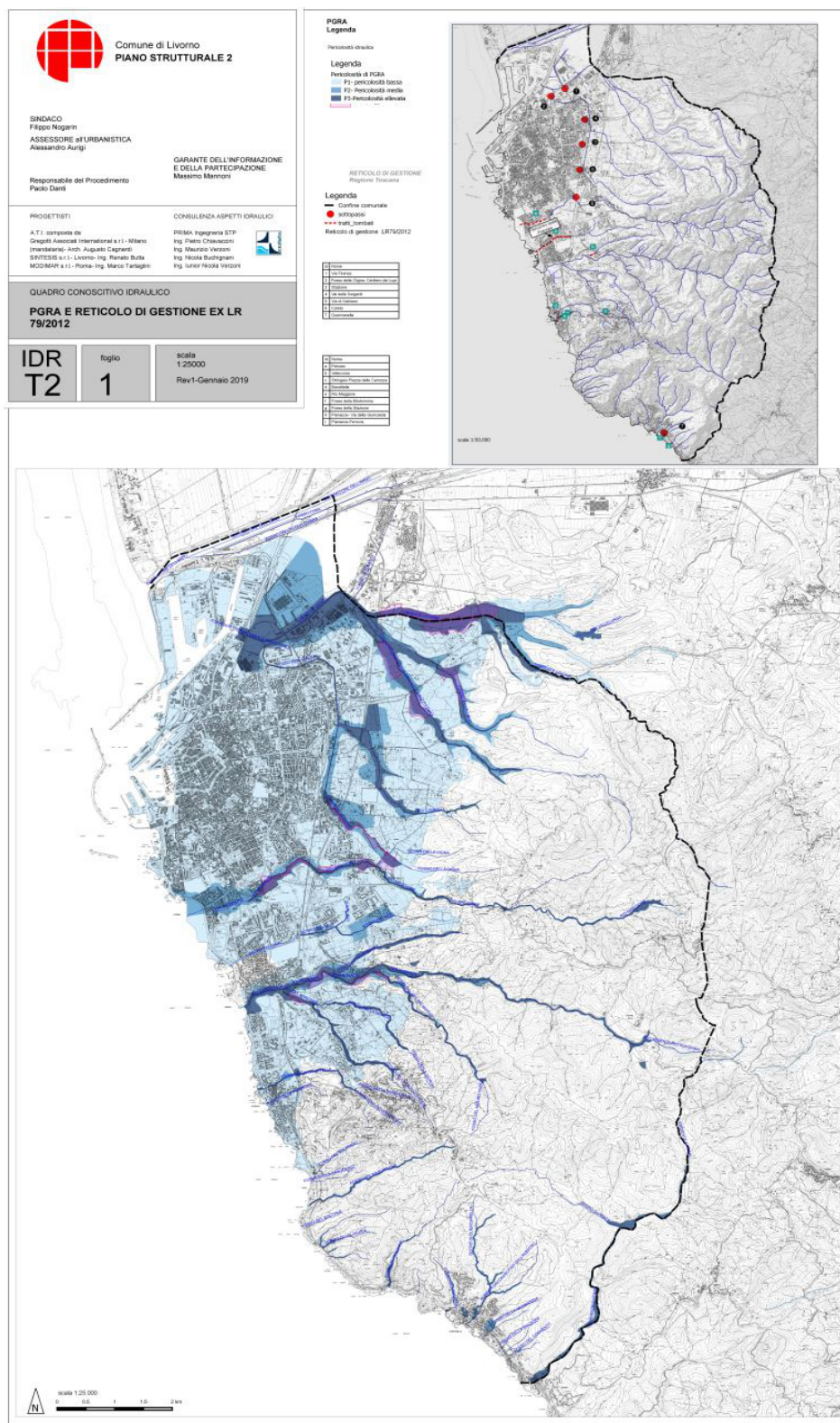


Fig. 1_Carte Plan de Gestion Risques Inondations Bassin Régional Toscana Côte et Ombrone



3.4 L'événement extrême des 9 et 10 septembre 2017

Voici le graphique des précipitations annuelles cumulées sur la période de 30 ans 1916-2016 (source : Lamma), qui montre que la moyenne des précipitations annuelles cumulées à Livourne est de 800 mm/an.

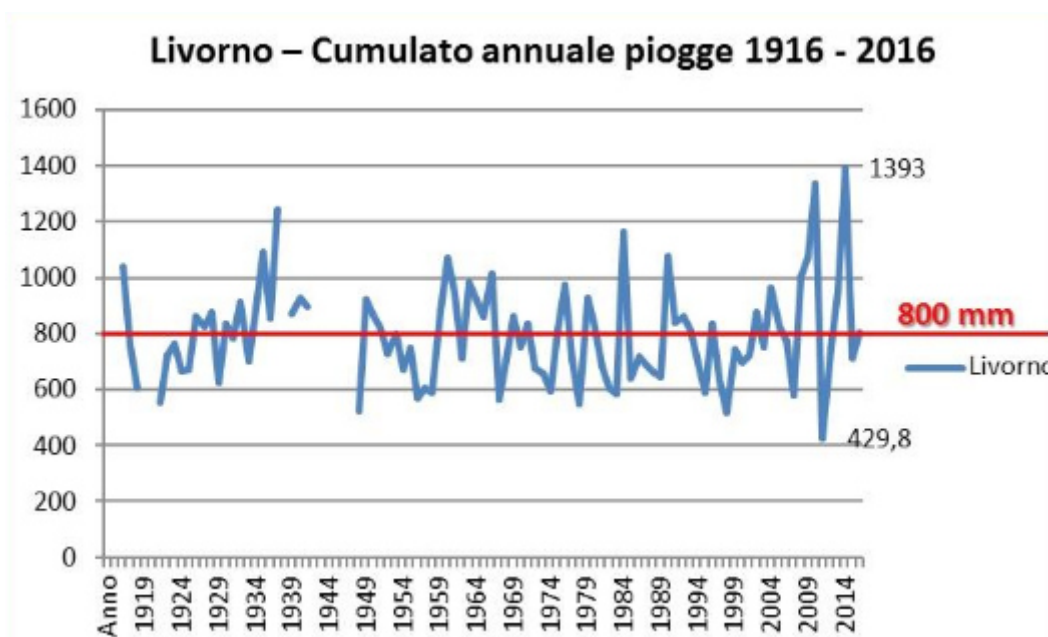


Fig.2_Livorno- précipitations annuelles cumulées

Comme on peut le constater, ces dernières années, il y a eu de fortes fluctuations dans la quantité de pluie tombée, avec une tendance à l'augmentation des événements extrêmes.

Dans la nuit du samedi 9 au dimanche 10 septembre 2017, un événement exceptionnel a eu lieu. La pluie tombée sur les collines de Livourne (de 1h45 à 3h45) a atteint 256 mm en 2 heures. Cette valeur est presque le double des précipitations maximales en 3 heures en 1970, soit 138,4 mm, et est égale à 32 % des précipitations annuelles moyennes.

Précipitations maximales en 24 heures à Livourne	
Date	mm
19/06/1970	195,8



03/10/1964	180,0
02/10/1993	143,8
07/06/1971	134,2
03/09/1988	123,6
25/10/1940	106,6
17/09/2006	102,8
09/04/1924	102,5
11/11/2012	100,6
27/11/1984	96,6
26/09/1973	93,4
14/09/2009	90,4

Fig.3_Précipitations maximales historiques en 24 heures

Cette nuit-là, du point de vue météorologique, s'est formé ce qu'on appelle un "système convectif méso-échelle" dans lequel l'orage, né sur la mer grâce à l'air chaud et humide présent près de la surface de la mer, poussé vers le rivage par le vent de haute altitude, a déversé de la pluie et de l'air plus frais sur la terre. L'air frais retourne ensuite à la mer pour former une nouvelle tempête, qui est repoussée vers la terre où elle déverse son contenu, formant une série d'orages qui se déchargent de manière répétée sur la terre. Dans ce cas précis, les vents au sol et ceux de l'atmosphère ont pris une configuration très rare et telle que la tempête a toujours insisté sur la même zone.

L'identification de l'événement a été abordée par le Prof. Eng. Fabio Castelli qui, le 6 janvier 2018, a remis à la Région Toscane l'étude "Reconstruction hydrologique de l'événement des 9/10 septembre 2017 dans la province de Livourne (bassins d'Ugione à Chioma inclus)". Il ressort de cette étude qu'entre 21 heures le samedi 9 septembre 2017 et 6 heures le dimanche 10 septembre 2017, l'événement météorologique a été caractérisé par un plus grand nombre de systèmes de tempête qui se sont produits entre la mer et la côte entre Livourne et Pise, avec trois périodes plus intenses. Au cours



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



de la première période, qui insistait principalement sur les zones les plus proches de la côte, en particulier entre les territoires de la ville de Livourne et de Marina di Pisa, il y avait des maximums cumulés de 63,4 mm/1 heure sur Livourne (entre 20:45 et 21:45) et de 65,6 mm/1 heure sur Marina di Pisa (station de Bocca d'Arno). Il convient de noter que, alors que sur Marina di Pisa l'événement a provoqué plus de 90 mm de pluie en 2 heures, sur Livourne après 21h45 les pluies ont pratiquement cessé.

Par la suite, entre 23h30 et 01h30 environ, les zones de la côte de Pise et les zones plus intérieures limitrophes de la ville de Pise elle-même, ont de nouveau été touchées par de fortes précipitations avec des accumulations encore importantes sur la courte durée (15 minutes et 1-2 heures) ; ce phénomène n'a pas concerné la province de Livourne. De 02h00 à 02h30 dimanche, une nouvelle forte onde de tempête, qui est ensuite devenue la plus violente, a principalement touché les zones situées entre la partie sud de la ville de Livourne et Rosignano.

Dans ces régions, les valeurs des précipitations ont atteint des valeurs qui, sur de courtes durées, sont vraiment extrêmes avec des pics de plus de 40 mm/15 min, 120 mm/1 heure et 230 mm en 3 heures.

La nette différence entre les données maximales enregistrées en ces heures, dans les différents intervalles de temps de 1, 2 et 3 heures, des stations de Quercianella et Valle Benedetta met en évidence la forte localisation du phénomène de tempête qui a localement déversé même plus de 200 mm de pluie en 2 heures. Ceci par rapport aux stations situées un peu plus au sud ou plus à l'intérieur des terres, telles que Castellina Marittima, Collesalvetti, Santa Luce, ou, plus au nord, comme Livorno Mareografo.

Les temps de retour estimés associés aux pluies de 1 et 3 heures enregistrées lors de cet événement sont bien supérieurs à 200 ans (valeurs numériques estimées entre 500 et 1 000 ans). En raison des caractéristiques de l'événement qui s'est produit, développé principalement sur la côte impliquant de fortes précipitations sur de courtes périodes (1-3 heures), les pires effets sur le territoire (inondations, débordements, etc.) ont été

causés par des cours d'eau mineurs (ruisseaux et fossés) qui proviennent de l'arrière-pays de Livourne et se jettent directement à la mer, comme dans le cas du Rio Maggiore et du Rio Ardenza.

Nom station	Pluie max 15'	Pluie max 1h	Pioggia max 2 h	Pioggia max 3 h
Quercianella	42,4 mm	121,8 mm	188,6 mm	206,2 mm
Valle Benedetta	38,4 mm	120,8 mm	210,2 mm	235 mm

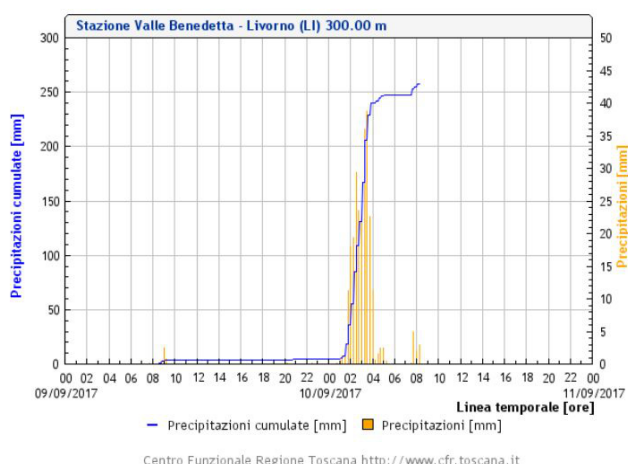
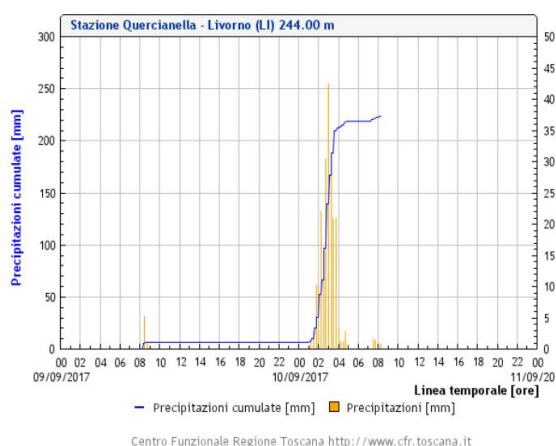


Fig. 4_Pluviogrammes des stations de Quercianella et Valle Benedetta du 9-10/09/2017

3.5 Nouvelle analyse des inondations

Suite à l'inondation de 2017, avec la rédaction du "Cadre de connaissances hydrauliques" pour le Plan structurel 2, réalisée par Prima Ingegneria STP (Ing. P.Chiavaccini, Ing. M.Verzoni, Ing. N.Buchignani, Ing. Iunior N. Verzoni), les zones à risque hydraulique élevé et très élevé ont été redéfinies.

La nouvelle analyse des inondations, en particulier sur les zones les plus pertinentes du



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



point de vue de l'urbanisme et considérées comme plus critiques, a particulièrement touché (en allant du nord au sud) :

- Rivière Ugione;
- Ravin della Puzzolente et Ravin Vallelunga;
- Ruisseau Cigna et T. Cignolo;
- Ruisseau Maggiore;
- Ravin Querciaio e Felciaio;
- Ruisseau Ardenza;
- Ruisseau Banditella y compris les bassins de Montenero (Ravin dei Fichi, del Governatore e Ravin Stringaio);
- Bassins di Qurcianella;
- Rivière Chioma.

Dans de nombreux bassins des ruisseaux susmentionnés, il existe des caisses de laminage qui fonctionnent déjà pour des épisodes de scénario depuis trente ans, contenant les débordements. Les criticités restantes sont présentes dans les sections affectées par les croisements et les rétrécissements de section qui limitent la capacité d'élimination. Sur l'ensemble du territoire, les sections urbaines des canaux sont souvent insuffisantes pour contenir les inondations, ce qui provoque des inondations généralisées.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

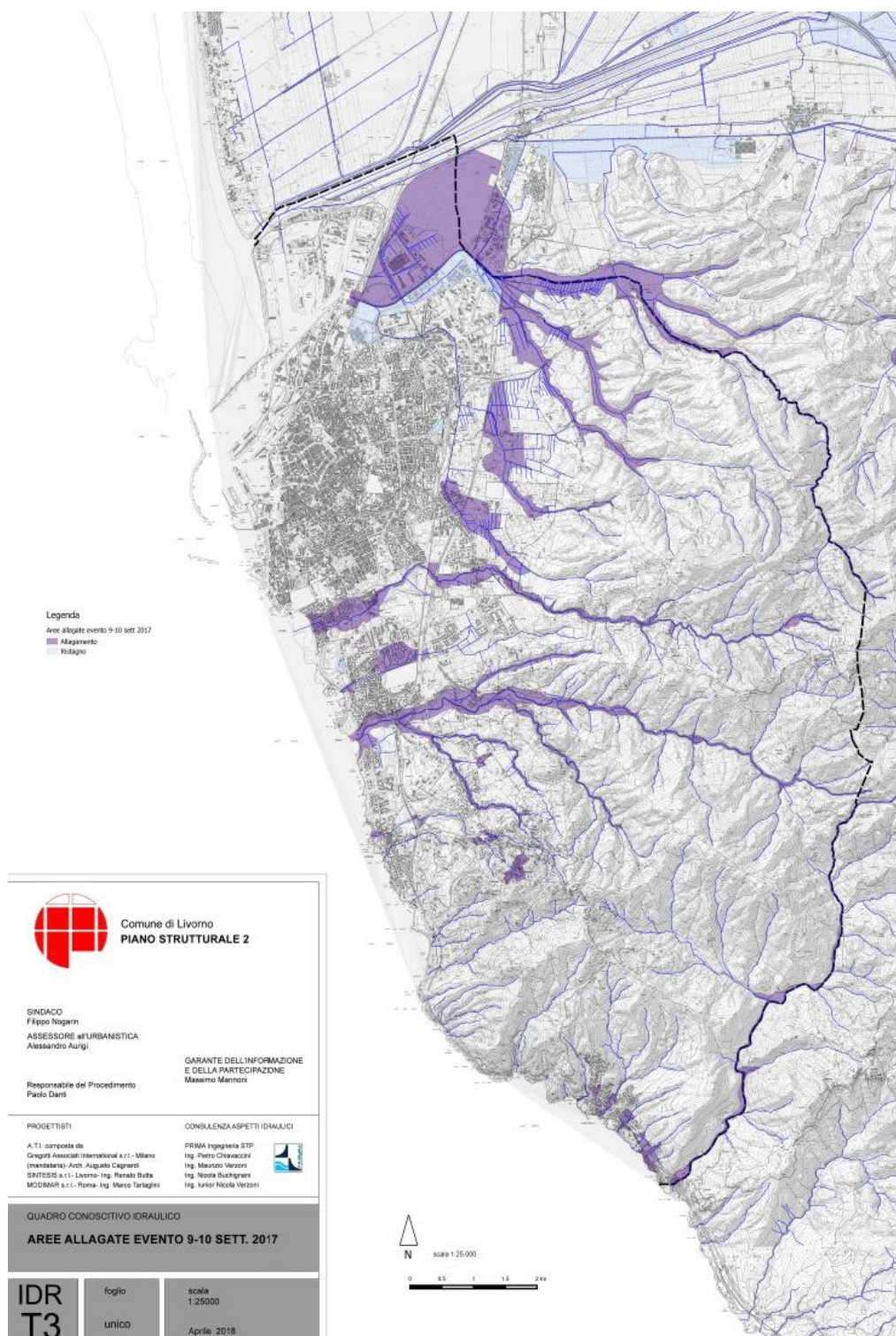


Fig. 5_Carte des zones inondées suite à l'événement des 9 et 10 septembre 2017



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



3.6 Risque hydraulique après une inondation

Risque hydraulique Dans la période post-inondation, la municipalité de Livourne, sur la base des résultats de la Région de Toscane, s'est dotée d'une carte thématique du risque hydraulique qui définit toutes les zones touchées par les inondations, en les situant dans la classe P.3 (risque hydraulique élevé du PGRA), ou dans la classe de risque P.I.4 (risque hydraulique très élevé du DPGR n° 53/R). Par la suite, avec la définition des différentes études hydrauliques élaborées par la Région Toscane, le Plan structurel 2, approuvé par la résolution du Conseil municipal n° 75 du 7 avril 2019, a été accompagné d'une carte spécifique du risque hydraulique. Dans cette carte, les zones inondables réelles (c'est-à-dire soumises à des inondations en raison de l'insuffisance du réseau principal) qui entrent dans la classe de risque P.3 et P.2 du PGRA correspondent aux classes P.I.4 et P.I.3 de la DPGR 53/R, tandis que les zones stagnantes (liées à des dépressions du terrain ou à un drainage insuffisant) qui relèvent de la classe de danger P.1 du PGRA correspondent à la classe P.I.2 de la DPGR 53/R. après inondation. Pour la mise à jour des cartes de risques, il est fait référence à l'étude hydraulique préparée pour la commune de Collesalveti et approuvée pour la modification du Plan de gestion des risques d'inondation, avec communication de l'Autorité du bassin de l'Arno prot. 3577 du 05/10/2015. Les principes de cette étude ont donc été appliqués aux réseaux fluviaux dans les zones d'intérêt de la municipalité de Livourne. La page suivante présente la carte des risques hydrauliques établie à la suite de l'inondation de 2017.

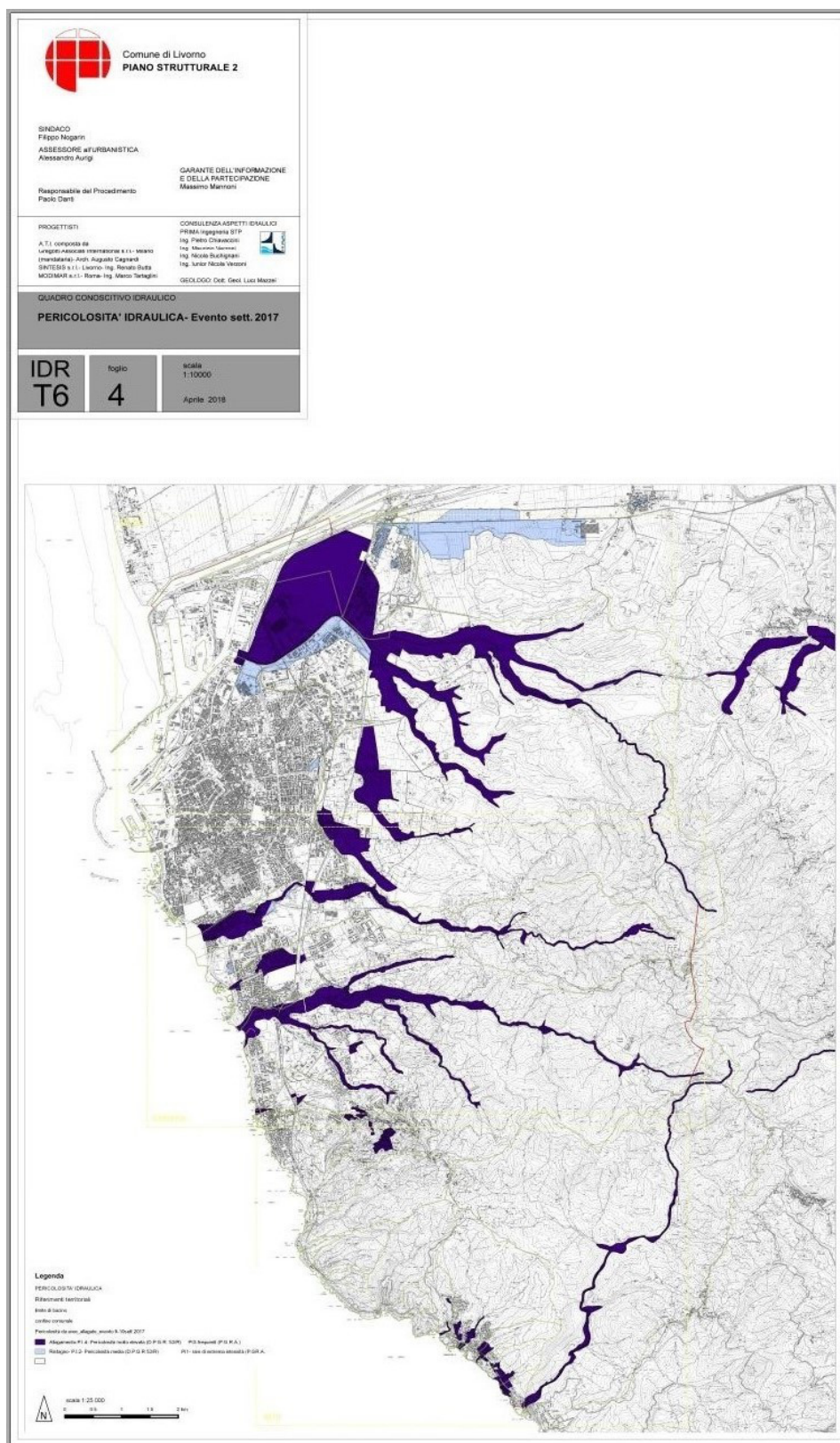
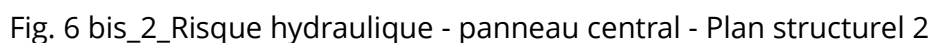
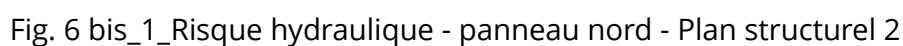


Fig. 6_Carte des risques hydrauliques suite à l'événement des 9 et 10 septembre 2017



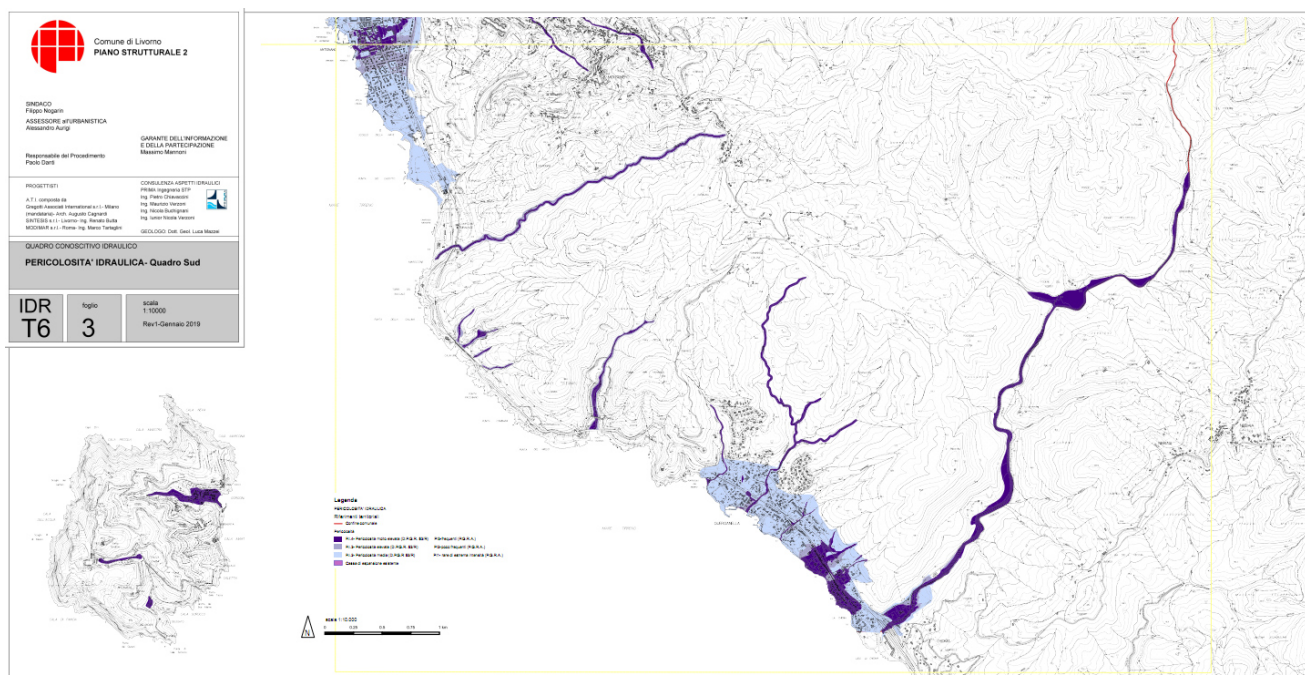


Fig. 6 bis_3_Risque hydraulique - panneau sud - Plan structurel 2

3.7 Interventions après les inondations

3.7.1 Interventions entreprises par la municipalité de Livourne

Suite à l'inondation, la municipalité de Livourne a effectué de multiples interventions, notamment la restauration ou l'élimination de sections recouvertes, la sécurisation de glissements de terrain et d'éboulements, le nettoyage des embouchures, la reconstruction de ponts et de parapets, et l'aménagement de lit de rivières, avec des palplanches, des micropieux, des gabions ou des récifs.

3.7.2 Interventions entreprises par la région de Toscane

Suite aux inondations de 2017, la région de Toscane a participé à la reconstruction des deux ponts de Via delle Vallicelle sur le Rio Maggiore et de Via remota sur le Rio Ardenza, et a également commandé des études hydrauliques spécifiques, notamment la conception de la sécurité hydraulique des principaux canaux.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



3.8 Criticités

D'une manière générale, le développement des zones étanches est largement imputable à des stratégies d'aménagement du territoire qui n'ont pas pris en compte la perte irréversible des sols, les effets environnementaux qui y sont liés, la qualité de la ressource sacrifiée et l'existence d'instruments capables de l'évaluer.

La plus grande évolution en termes relatifs a été en faveur des surfaces artificielles. Dans les zones artificielles, ce sont les zones industrielles, commerciales et infrastructurelles qui ont connu le plus grand pourcentage d'expansion.

L'impact le plus important de l'imperméabilisation des sols est déterminé par le débit de l'eau. L'incapacité des zones étanches à absorber une partie de l'eau par filtration augmente considérablement le débit de surface et peut favoriser la contamination par toute substance chimique présente à la surface. Le ruissellement de surface augmente donc en volume et en vitesse, ce qui pose des problèmes évidents sur le contrôle des eaux de surface, surtout lors de pluies particulièrement intenses, affectant la capacité de recharge des nappes phréatiques. L'augmentation des surfaces imperméabilisées entraîne en effet une augmentation des coefficients de débit et une réduction des temps de ruissellement, ce qui rend nécessaire la réduction de la taille du réseau hydraulique et la construction d'ouvrages pour contenir les inondations exceptionnelles.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

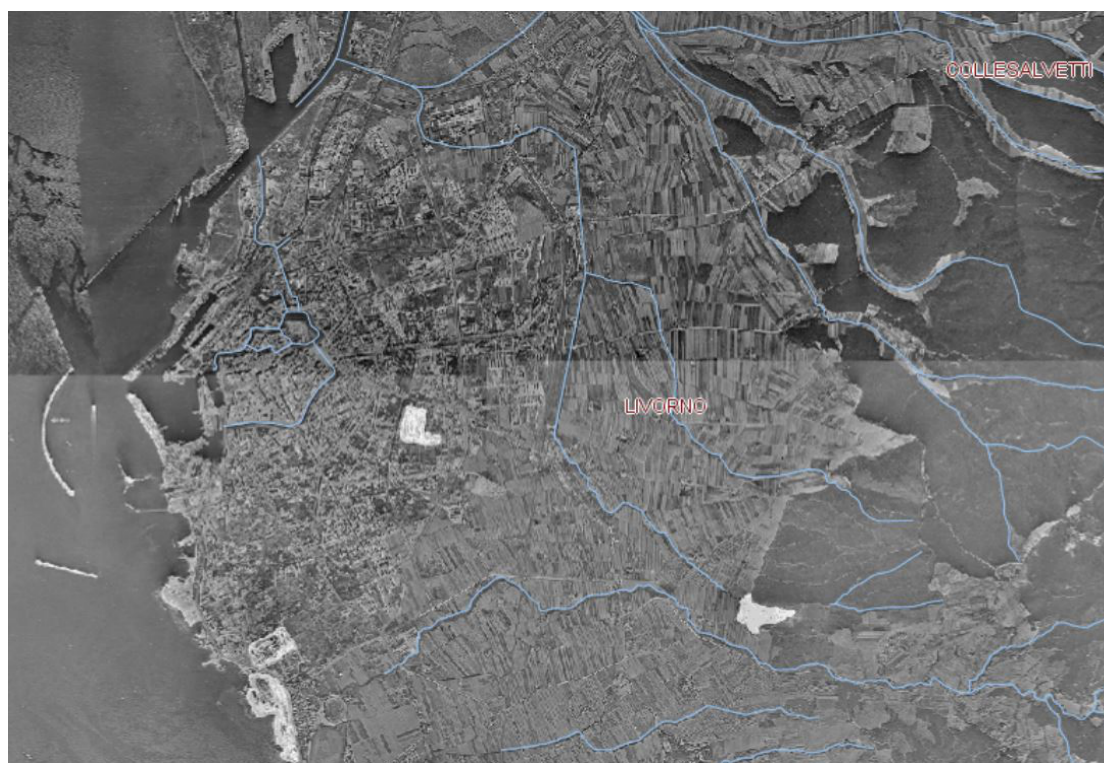


Fig. 7_Orthoimage de sols urbanisés 1954



Fig. 8_Orthoimage de sols urbanisés 2010



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



La conformation du territoire, la proximité des reliefs de la ville fortifiée, ainsi que la hiérarchie des débits, parfois combinée avec des choix faits dans le passé qui n' étaient pas particulièrement sensibles aux contraintes hydrauliques, peuvent rapidement conduire à l'effondrement hydraulique des torrents, surtout lors de pluies intenses et brèves.

Le terme "inondation des centres urbains" fait référence à la phénoménologie des inondations essentiellement liée à deux questions différentes :

- **l'inondation des zones urbaines drainées - réseau d'égouts**, c'est-à-dire inondation des infrastructures urbaines ou périurbaines due à la régurgitation du réseau d'égouts ou des fossés et des drains ; ce type de risque peut être causé par des pluies violentes et intenses, même très localisées, qui peuvent se produire lors d'événements météorologiques prolongés, même sans inondation des cours d'eau.

- **l'inondation des masses d'eau de surface**, c'est-à-dire les inondations urbaines ou les infrastructures routières péri-urbaines ou extra-urbaines ; elle peut être causée par l'inondation d'un des cours d'eau de surface également à la suite de l'engorgement des stations d'épuration, par l'érosion des berges et l'effondrement (par glissement de terrain) des pentes et/ou des talus, avec élimination des matériaux terrigènes et éventuellement de la végétation. Tout cela peut déclencher, le long du cours d'eau, et en correspondance d'artefacts anthropiques (ponts, passerelles, tuyaux, etc.) ou de conformations particulières du lit du fleuve (goulets d'étranglement, traverses, etc.) d'éventuelles occlusions partielles ou totales du lit du fleuve lui-même avec, pour conséquence, le détournement du courant et l'inondation des zones environnantes.

Étant donné que les phénomènes pluviométriques qui peuvent déterminer les deux types de risque sont sensiblement les mêmes, il n'est pas à exclure la présence simultanée de phénomènes d'inondation localisés en combinaison avec des phénomènes de débordement du réseau hydrographique de surface.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Le réseau mesure en moyenne 18 km de collecteurs et 280 km de réseau urbain.

Dans le plan de protection civile en vigueur, approuvé par le conseil municipal par la résolution n° 143 du 16 novembre 2011 - dont les données ont été récemment mises à jour par la résolution du conseil municipal n° 800 du 21 novembre 2019 - actuellement en cours de révision, est précisément identifiée la liste des routes qui peuvent être sujettes à des inondations généralisées et persistantes en liaison avec la crue des cours d'eau.

Dans la carte des "points chauds" présents dans la ville en cas de fortes précipitations, sont mis en évidence ces nœuds de risque qui se créent principalement lors de phénomènes météorologiques exceptionnels, dont la fréquence, cependant, augmente de plus en plus.

La cause des blocages récurrents du passage souterrain de Via Firenze se situe clairement dans les limites de la capacité de drainage des fossés d'eau peu profonde et de leurs siphons en raison de l'imperméabilisation et du rehaussement des sols de campagne pour la construction dans les zones à risque hydraulique. Dans les autres cas, il s'agit d'atteindre les débits maximums qui peuvent être tolérés par certains collecteurs de la ville (tout d'abord Risecoli et Bellana, mais aussi Cignolo sur les Viali dell'Aurelia de la ville). Mais aussi de la fonctionnalité insuffisante des dispositifs hydrauliques et les principales crêtes dans les zones altimétriquement défavorables de convergence naturelle des écoulements de surface non interceptés en amont, les fissures, le colmatage, la réduction de la section utile en des points importants du réseau en raison d'interférences localisées. En tous les cas, il s'agit de problèmes de réseaux d'égouts inadéquats qui s'aggravent dans les zones défavorisées (passages souterrains). Comme il s'agit de phénomènes de régurgitation, les inondations sont causées par des crues et des stagnations et, à l'exception des problèmes de Via Firenze



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



qui sont plus répandus, les autres problèmes restent limités (même s'ils sont extrêmement dangereux, notamment dans la correspondance des passages souterrains).

À la demande de la municipalité de Livourne, le Consorzio di Bonifica 5 Toscana Costa a construit une station de relevage composée de 3 installations hydrauliques de 0,3 mc/s, d'une capacité totale de 0,9 mc/s, situées au passage souterrain de la Via Firenze.

Plusieurs situations de zones urbaines susceptibles d'inondations en raison de leur taille insuffisante ont été résolues par l'adaptation des sections et par un plus grand nombre de collecteurs d'eaux pluviales. Mais aussi par un renforcement des dispositifs hydrauliques - également combinés - et une augmentation de l'accumulation. Toutefois certaines sections de routes urbaines restent critiques, en particulier certains de Via Firenze sous le passage souterrain de la voie ferrée, la zone de l'hôpital Viale Alfieri et le confluent sur le Viale Carducci, la zone du Viale Italia Ardenza, et certaines zones urbaines dans les zones de la gare, du quartier nord, de Venise, de S. Marco.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

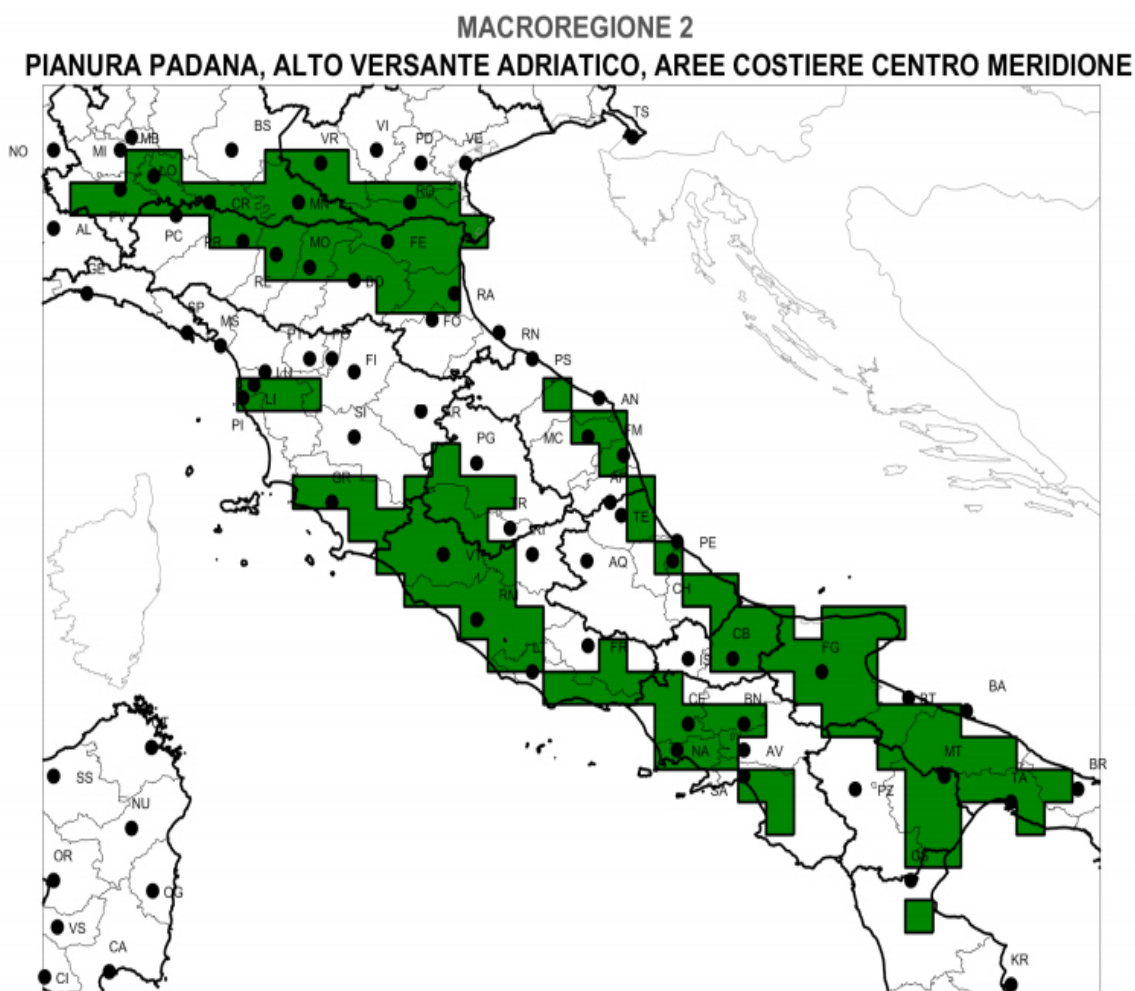
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



4 Profil climatique local de la municipalité de Livourne

4.1 Le climat de la région Toscane et des zones côtières

Le climat de la Toscane varie considérablement dans les différentes provinces et dans les distinctes régions, principalement en raison de diverses variables telles que la présence de la mer, qui mouille la région à l'ouest, les zones montagneuses centrales et la crête des Apennins délimitant le territoire au nord et à l'est. Les zones marines ou proches de la mer au climat plus doux sont les îles de l'archipel toscan, tandis que les zones les plus froides sont celles proches des Alpes Apuane. La bande côtière a un climat typiquement méditerranéen, avec des températures moyennes annuelles comprises entre 15°- 16° et sur les 16°-16,5° C 16-16.5°C dans les zones les plus au sud de la région (par exemple, la Maremma Toscana). Les mois le plus froid et le plus chaud sont respectivement janvier et juillet. En janvier, sur les zones côtières, les températures moyennes avoisinent les 9°C. Les températures minimales sont presque toujours supérieures à 0°C et les valeurs les plus élevées se concentrent notamment au sud de la région et sur les îles. La moyenne de juillet se situe entre 24° et 25°C, avec des maxima ne dépassant pas généralement les 35°C, à l'exception des années particulièrement chaudes, avec des excursions thermiques annuelles et journalières assez peu élevées. En référence à la documentation établie par ISPRA, concernant les indicateurs climatiques pour l'année 2017 (ISPRA, 2017), la Toscane a été touchée par des vagues de chaleur pendant l'été. En particulier, les trois grandes vagues de chaleur ont eu lieu au cours des dix premiers jours de juin et août, avec des valeurs régionales de la température moyenne de près de 4°C supérieures à la moyenne de référence de 1981-2010. Relativement à la vague de chaleur début d'août 2017, en ce qui concerne les températures maximales et leur durée (31 juillet-9 août), il s'est agi probablement de la deuxième plus intense vague en Toscane après celle de juillet 1983.



MACRO REGION 2

PLAINE DU PO, HAUTE COTE ADRIATIQUE, ZONES COTIERES DU CENTRE-SUD

Figure 9 - Zones incluses dans la macro-région 2 identifiées par le plan national d'adaptation aux changements climatiques. Source: PNACC, 2017.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



4.2 Analyse climatique: période actuelle

Le climat de Livourne

En référence au contexte climatique défini par le Plan national d'adaptation aux Changements Climatiques (PNACC, 2017), la ville de Livourne fait partie de la macro région 2, c'est-à-dire celle identifiée par la plaine du Pô, la partie haute de la côte adriatique et les zones côtières du centre-sud de l'Italie. La macro région 2 est *"caractérisée par le plus grand nombre de jours, en moyenne, au-dessus du seuil choisi pour la classification des jours d'été (29,2°C), par rapport à toutes les autres zones et en même temps par des températures moyennes élevées. Le nombre maximale de jours consécutifs sans pluie est aussi élevé (CDD) par rapport à d'autres régions du centre-nord de l'Italie; le régime pluviométrique, en termes de valeurs saisonnières (WP et SP) et extrêmes (R20 et R95p), présente des caractéristiques intermédiaires "* (Figure 9). Le climat de la ville de Livourne est un climat méditerranéen caractérisé par des étés chauds atténués par la présence de brises de mer et par des hivers non particulièrement froids grâce à l'action atténuante de la mer, avec des précipitations principalement concentrées en automne et en hiver.

Variabilité climatique actuelle

Étant donné que les macros régions climatiques définies dans le PNACC ne sont, souvent, pas à même, de bien représenter le climat local, car elles utilisent un nombre limité de stations météorologiques, afin de définir le profil climatique spécifique de la ville de Livourne il a été nécessaire de recueillir des données météorologiques de longue période qui par des analyses statistiques appropriées ont permis d'évaluer la variation climatique actuelle. Afin d'obtenir une analyse plus détaillée des variations climatiques ayant intéressé la ville de Livourne au cours des dernières décennies, des jeux de



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



données in situ (pour la ville de Livourne) et des jeux de données en grille ont été utilisés, c'est-à-dire des données météorologiques quotidiennes interpolées avec une résolution spatiale de 25 km carrés produits par le JRS Monitoring Agricultural ResourceS (MARS).

L'ensemble de données in situ concerne la station appartenant au SIR (Service hydrologique régional, http://www.sir.toscana.it/archivio/pop_up.php?IDST=pluvio&IDS=TOS10001960).

L'ensemble de données comprend des données concernant la période 1955-2000. Pour les données successives à l'an 2000, la station d'origine a été reconstruite selon les techniques statistiques appropriées à travers l'ancienne station météorologique CIBIC, Livorno mareografic ISPRA Livorno Mareografo. Cet ensemble de données a été utilisé pour évaluer la climatologie à long terme de la municipalité de Livourne. Les tendances moyennes en matière de température et de pluie ont été analysées, ainsi que certains extrêmes suggérés par le groupe d'experts sur la détection et les indices de changement climatique (ETCCDI), qui a défini un ensemble d'indicateurs synthétiques, principalement basés sur les valeurs de température et de précipitation. Les valeurs extrêmes analysées sont les suivantes: i) SU (jours d'été), nombre de jours par an avec une température quotidienne maximale supérieure à 25°C; ii) TR/TN (nuits tropicales), nombre de jours par an avec une température minimale supérieure à 20°C; iii) FD (jours de gel), le nombre de jours de gel défini comme le nombre de jours par an avec une température minimale quotidienne de moins de 0°C; iv) R10, nombre de jours par an avec des précipitations supérieures ou égales à 10 mm; v) R20, nombre de jours par an avec des précipitations supérieures ou égales à 20 mm.

L'ensemble de données en grille a été utilisé afin d'identifier une climatologie à long terme pour l'étendue de la province de Livourne. Celle-ci occupe une zone plus vaste sur laquelle effectuer des analyses statistiques pouvant être considérées comme représentatives du climat de l'ensemble de la commune. L'ensemble de données de la



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



grille a permis d'obtenir des données caractérisées par la continuité et l'exhaustivité de la série historique, l'absence de valeurs aberrantes et l'homogénéité de la série elle-même, ainsi que la fiabilité des données jusqu'à la dernière année (2017).

Cet ensemble de données a permis, en plus de l'analyse de la variabilité des valeurs moyennes et extrêmes, deux actions supplémentaires distinctes: a) Analyse de la tendance climatique pour la période 1975-2017. Celle-ci, en définissant les conditions moyennes sur une très longue période, nous permet de comprendre quelles ont été et quelles sont actuellement les conditions climatiques moyennes de la ville; b) Analyse de la tendance climatique pour les périodes 1975-1999 et 2000-2017. Cette analyse, qui encadre les conditions moyennes sur deux périodes longues mais distinctes, permet de mettre en évidence les différences climatiques causées par les changements climatiques au cours des dernières décennies. En particulier, l'analyse s'est concentrée sur les variations de la période entre les deux sous-périodes afin de mettre en évidence les variations de la température et des précipitations, autant en valeur moyenne que dans les extrêmes, observées au cours des dernières décennies, comme l'indiquent également les rapports du GIEC.

Ensembles de données in situ -Tendance climatique pour la période 1955-2010

L'analyse des tendances annuelles des températures et des précipitations pour la ville de Livourne montre une augmentation des températures maximales et minimales pour les dernières décennies (ligne noire continue) par rapport à la période précédente (ligne pointillée). Cette augmentation est nettement visible et marquée pour les températures, alors qu'il n'y a pas de tendance claire pour les précipitations.

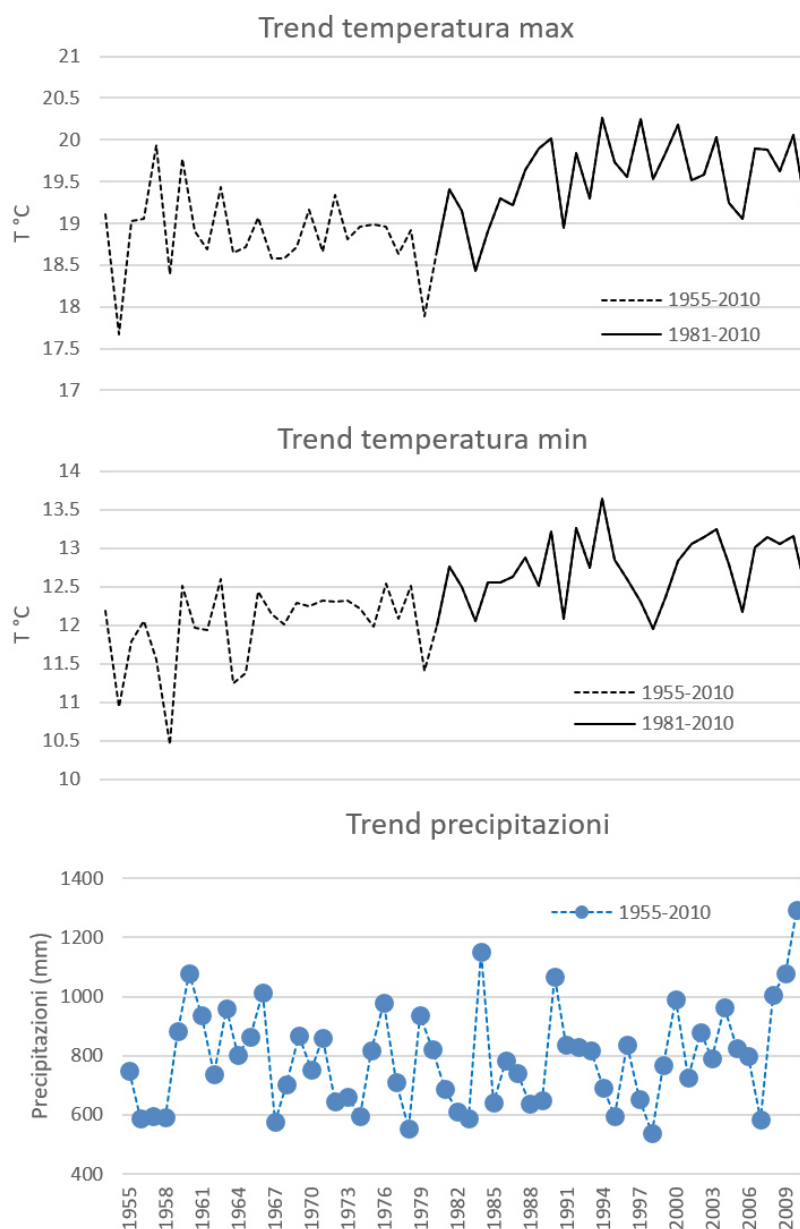


Figure 10 - Evolution de la configuration moyenne annuelle des températures maximales et minimales et des précipitations cumulées totales pour la ville de Livourne pour les périodes 1955-2010 et 1981-2010. Mesures obtenues in situ à partir des données de la station SIR.

Afin de mieux comprendre l'évolution du climat sur le territoire de Livourne, les différences, dans l'évolution de la température annuelle, (moyenne annuelle maximale



et minimale) et des précipitations (cumul annuel) pour les périodes 1955-1980 et 1981-2010, ont été mises en évidence. Considérant que les deux périodes couvrent chacune les 30 années requises pour caractériser la dynamique climatique, l'analyse des différences entre elles a fourni des indications sur l'évolution des deux variables météorologiques (tableau 1).

		P1 (1955-1980)			P2 (1981-2010)			Δ (P2-P1)
		Tmax (°C)	Tmin (°C)	PP (mm)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	PP (mm)	Tmax (°C)
Année	Valeur max	19.9	12.6	1078.6	20.3	13.6	1294.6	0.33
	Valeur min	17.7	10.4	552.0	18.4	12.0	538.2	0.76
	Valeur moy	18.9	12.0	780.1	19.5	12.7	802.3	0.67
Saison (Valeur moyenne)	Printemps	20.6	13.4	49.4	21.2	14.3	53.2	0.63
	Été	26.1	18.7	47.1	27.1	19.7	47.8	0.99
	Automne	16.0	9.5	101.8	16.8	10.3	113.7	0.74
	Hiver	12.7	6.2	68.0	13.1	6.6	56.7	0.46

Tableau 1 – évolution climatique dans la commune de Livourne sur une base annuelle et saisonnière pour la période 1955-2010. Le symbole Δ indique la variation entre les deux sous-périodes (P1, 1955-1980, P2, 1981-2010).

Le tableau 1 montre qu'au cours de la période la plus récente (P2), une augmentation généralisée de la température d'environ 0,7°C a été observée. En ce qui concerne les précipitations, il n'y a pas eu de grande variation par rapport aux conditions moyennes de la période précédente ($\Delta T = +22$ mm; + 3%). Sur une base saisonnière, les augmentations les plus significatives ont eu lieu en été, avec une augmentation de la température d'environ 1°C pour les températures plus basses ainsi que pour les plus élevées.

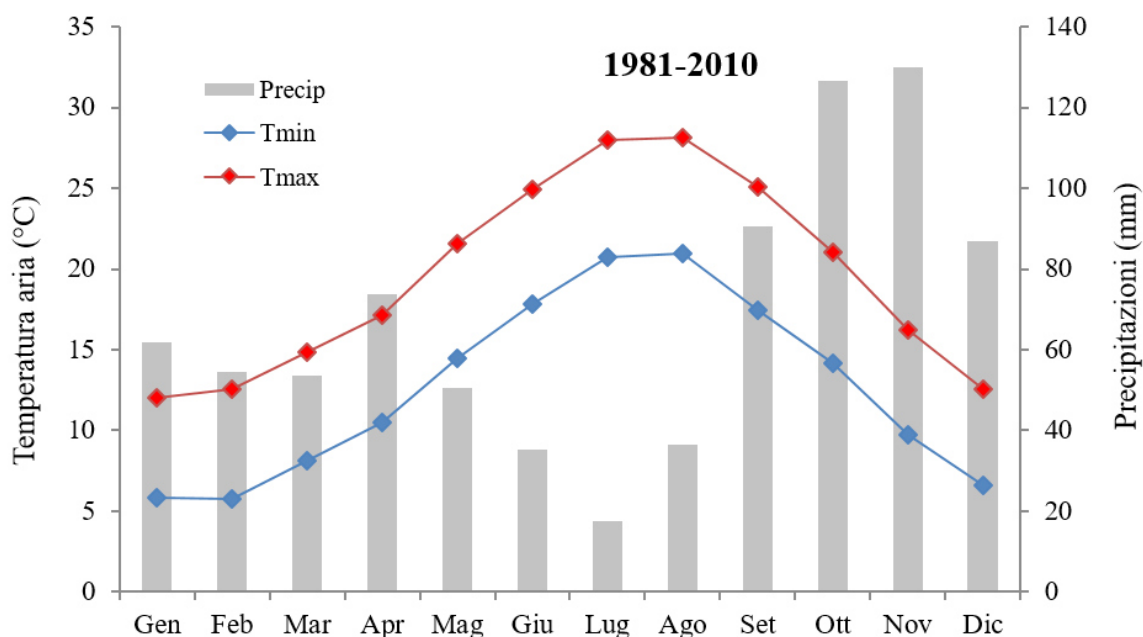


Figure 11 - Tendence climatique de la ville de Livourne pour la période 1981-2010. Mesures obtenues in situ à partir des données de la station SIR.

L'analyse climatique sur une échelle mensuelle pour la période 1955-2010 (Fig. 11) met en évidence pour la ville de Livourne un schéma typique des régions méditerranéennes, avec des précipitations concentrées principalement en automne (novembre, 123 mm) et des températures maximales moyennes plus élevées observées en été, juillet et août (~ 27,5°C). Les températures minimales moyennes les plus basses (~ 5,5°C) sont observées par contre en janvier et en février.

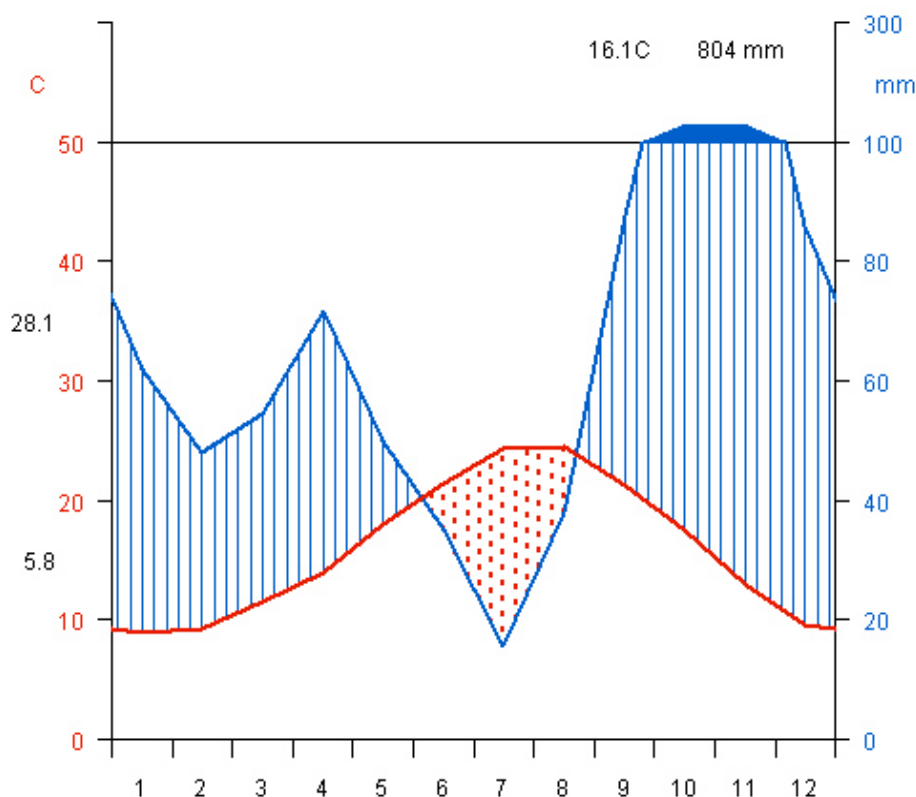


Figure 12 - Diagramme climatique de Walter et Lieth pour la ville de Livourne (Source: LaMMA)

Le diagramme climatique de Walter et Lieth (Fig. 12) souligne que la période de déficit hydrique ou d'aridité la plus importante se concentre principalement entre juin et août, alors que celle avec des précipitations supérieures à 100 mm et donc des phénomènes de instabilité hydrogéologique et hydraulique, se concentre à mi- automne (octobre-novembre). Le graphique montre en particulier les valeurs de sorte que, pour les précipitations mensuelles supérieures à 100 mm, la période des pluies est représentée par un quadrillage noir. En ce qui concerne l'analyse des températures extrêmes (tableau 2), un maximum de 37°C est détecté à la fin du mois de juillet 1983 et un minimum absolu pour le 11 janvier 1985. La même année, le nombre maximal de jours de glace (2) et de givre (11). Le nombre maximum de jours avec des températures supérieures à 34°C a été de 2 et ont été enregistrés en 1992, 1995 et 2003.



ESTREMI TERMICI	°C	Data
Tmin absolue	- 7.0	11/01/1985
Tmax absolue	37.0	30/07/1983
nombre total de jours de glace	2.0	1985
jours de glace max	2.0	1985
jours de gel moyens	3.0	
jours de gel max	11.0	1985-1991
jours T> 34° C en moyenne	0.0	
jours T> 34° C max	2.0	1992-1995-2003
indice de continentalité	16.0	

Tableau 2 - Températures extrêmes pour la ville de Livourne pour la période 1981-2010. (Source: LaMMA)

Les précipitations annuelles maximales (1295 mm) ont été enregistrées en 2010 et les minimales (539) en 1998. Sur une échelle saisonnière, les hauts et les bas ont tous été enregistrés en années différentes. Pour le printemps, le maximum (301) et le minimum (90) ont été enregistrés respectivement en 2010 et 1987. Pour la période estivale, le maximum (197) et le minimum (15) ont été enregistrés respectivement en 1984 et 2001. Pour période automnale, le maximum (557) et le minimum (80) ont été enregistrés respectivement en 1993 et 1983. Pour la période hivernale, le maximum (385) et le minimum (40) ont été enregistrés respectivement en 2009 et 1992.

EXTRÊMES PLUVIOMÉTRIQUES	Moyen	Max	Date pluie Max	Min	Date pluie Min
Pluie annuelle	804	1295	2010	539	1998
Pluie de printemps	176	301	2010	90	1987
Pluie d'été	88	197	1984	15	2001
Pluie d'automne	344	557	1993	80	1983
Pluie d'hiver	196	385	2009	40	1992

Tableau 3-Extrêmes pluviométriques de la ville de Livourne pour la période 1981-2010. (LaMMA)



Données de la grille de données

L'utilisation des données de la grille a permis de reconstituer pour un plus grand territoire des analyses statistiques pouvant être considérées comme représentatives du climat de l'ensemble de la municipalité jusqu'aux années les plus récentes (2017).

Tendance climatique pour la période 1975-2017

L'analyse climatique pour la période 1975-2017 (données de la grille) met en évidence un schéma de type méditerranéen, avec des précipitations principalement concentrées en automne (novembre, 113 mm) et des températures maximales moyennes plus élevées observées pendant les mois d'été de juillet et août (~ 29 ° C).

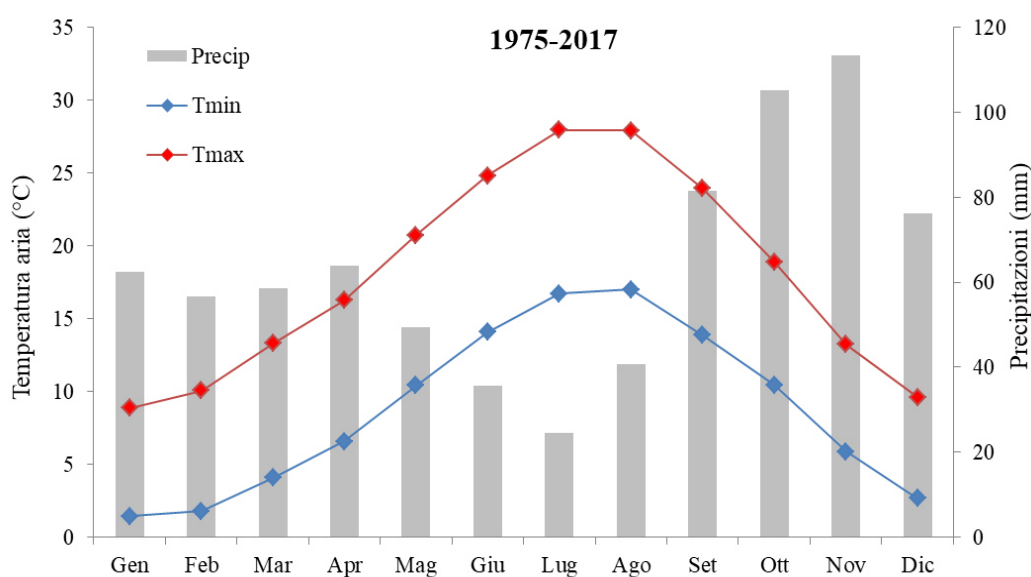


Figure 13- Tendance climatique (données quadrillées) de la région de Livourne pour la période 1975-2017. Cette période a été considérée comme un scénario de base ou de référence par rapport à l'analyse permettant d'évaluer la dynamique attendue pour l'avenir.

D'autre part, en ce qui concerne les valeurs extrêmes, fondamentales pour fournir des informations sur les principaux problèmes critiques de la région, de différents



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



indicateurs ont été signalés selon le groupe d'experts sur la détection et les indices de changement climatique (ETCCDI).

L'analyse des extrêmes montre, pour la période 1975-2017, un nombre de jours avec une température quotidienne maximale supérieure à 25°C égale à 3538 (~ 82 par an en moyenne), un nombre de jours avec une température minimale supérieure à 20°C égal à 270 et nombre de jours avec une température minimale quotidienne inférieure à 0°C égale à 1420 (~ 33 par an en moyenne). Le nombre de jours avec des précipitations supérieures ou égales à 10 mm a été de 1081 (~25 par an en moyenne), tandis que le nombre de jours avec des précipitations supérieures ou égales à 20 mm a été de 357 (~8 par an en moyenne). Ces indices présentent un intérêt particulier, surtout pour la comparaison entre les deux périodes analysées, car ils ont mis en évidence un net changement de climat associé aux indicateurs extrêmes.

Le graphique définit la situation climatique moyenne actuelle et s'avère être le point de départ de l'analyse des variations climatiques moyennes entre les dernières décennies et pour l'évaluation des extrêmes. Ces derniers, évalués quotidiennement, sont rapportés dans la suivante section 3 concernant ce qui est attendu pour l'avenir.

Analyse de la tendance climatique pour les périodes 1975-1999 et 2000-2017

L'étude du climat pour la période 1975-2017, en considérant une période de plus de 40 ans, ne reflète pas bien celles qui auraient pu être les modifications des principales variables climatiques (température et précipitations) au fil du temps. Pour identifier une tendance climatique et mettre ainsi en évidence les dynamiques prévisibles pour l'avenir, la série historique a donc été divisée en deux sous-séries, chacune identifiée par un tel nombre d'années a même de permettre une signification statistique acceptable. Les deux nouvelles séries chronologiques (1975-1999 et 2000-2017) ont ainsi permis d'évaluer l'évolution des principales variables climatiques entre les dernières décennies du XXe siècle et le début du XXIe siècle (Figure 14).

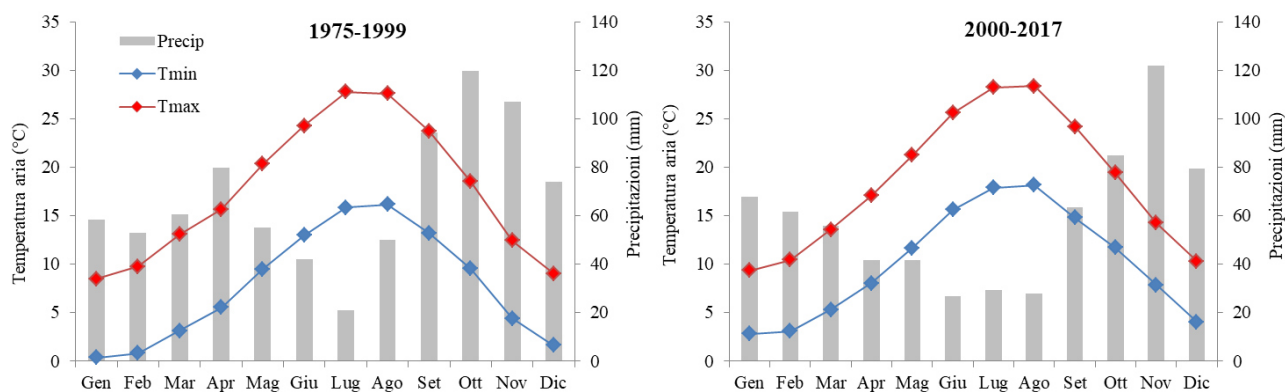


Figure 14- Tendence climatique de la région de Livourne (ensemble de données mis en grille) pour les périodes 1975-1999 et 2000-2017.

L'analyse climatique entre les deux séries a montré de différences significatives entre les deux sous-périodes. Les températures minimales ont augmenté de 2,3°C, tandis que les températures maximales ont augmenté d'environ 1°C. Les précipitations ont également montré des variations, avec une réduction (-12%) de la période la plus récente par rapport à 1975-1999.

Pour la période 1975-1999, l'analyse des extrêmes indique un nombre de jours avec une température quotidienne maximale supérieure à 25°C égale à 1947 (~ 77 en moyenne annuelle), un nombre de jours avec une température minimale supérieure à 20°C égal à 19 et un nombre de jours avec une température minimale quotidienne inférieure à 0°C égal à 1102 (~ 44 par an en moyenne). Le nombre de jours avec des précipitations supérieures ou égales à 10 mm a été de 675 (~ 27 par an en moyenne), tandis que le nombre de jours avec des précipitations supérieures ou égales à 20 mm a été de 221 (~ 8 par an en moyenne). En ce qui concerne les variables thermiques, les événements les plus significatifs se sont notamment produits en janvier 1985 (FD = -14°C); en juillet 1983 (SU = 35,2° C) et en juillet 1994 (TR/TN = 22°C). Afin de mieux mettre en évidence ces variations entre les deux périodes, la différence entre les températures, maximale, minimale et de précipitation, est présenté dans la figure 15.

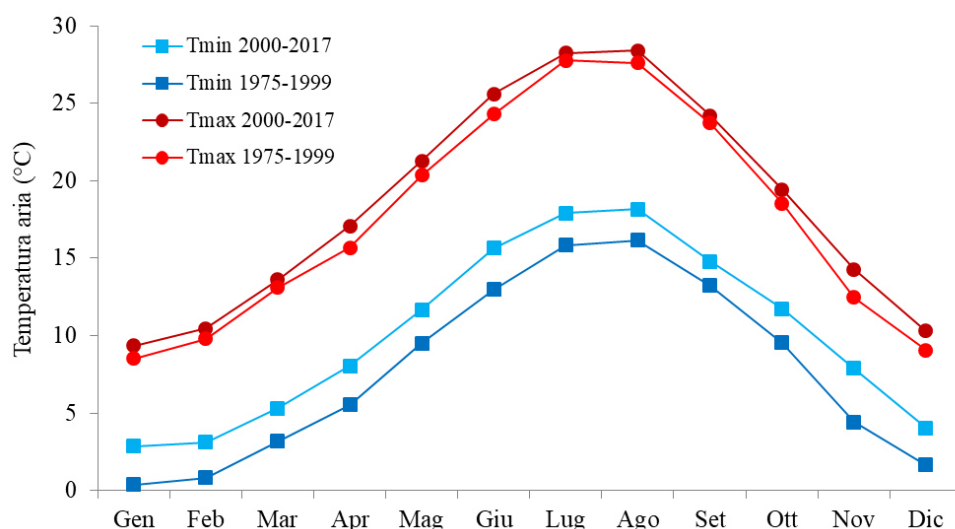


Figure 15 - Tendence climatique de la région de Livourne (ensemble de données mis en grille) pour les périodes 1975-1999 et 2000-2017.

En ce qui concerne la différence de température, il ressort de la figure 15 que les principales différences concernent surtout les températures minimales. Les hausses les plus faibles ont eu lieu principalement au cours de la période automne-hiver, les mois de novembre, décembre et janvier présentant des différences plus marquées par rapport à la période précédente. L'analyse des extrêmes montre, pour la période 1999-2017, un nombre de jours avec une température quotidienne maximale supérieure à 25°C égal à 1591 (~ 83 par an en moyenne), un nombre de jours avec une température minimale supérieure à 20°C égal à 251 (~ 13 par an en moyenne) et un nombre de jours avec une température minimale quotidienne de moins de 0°C égal à 318 (~ 16 par an en moyenne). Le nombre de jours avec des précipitations supérieures ou égales à 10 mm était de 406 (~ 21 par an en moyenne), tandis que le nombre de jours avec des précipitations supérieures ou égales à 20 mm était de 136 (~ 7 par an en moyenne). En ce qui concerne les variables thermiques, les événements les plus significatifs se sont notamment produits en janvier 2000 (FD = -6,3°C); en juillet 2003 (SU = 37°C) et en août 2009 (TR/TN = 24,5°C).



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

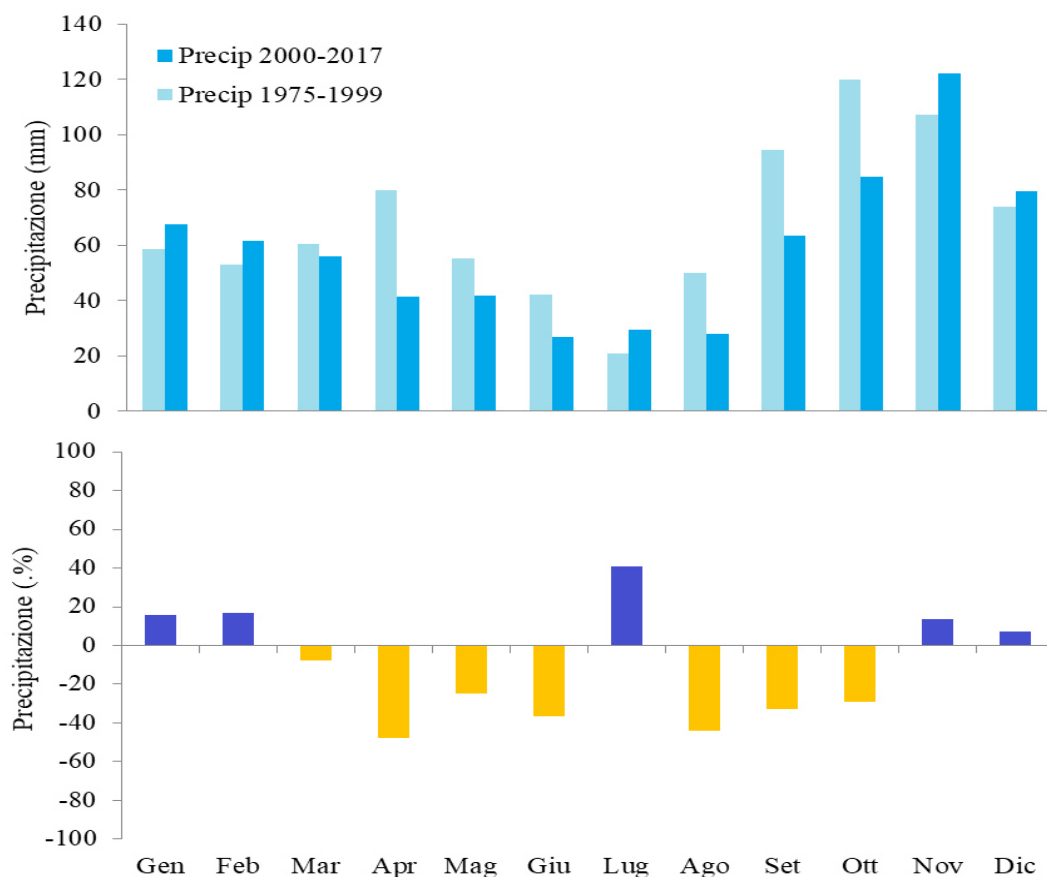


Figure 16 - Différences de précipitations dans la région de Livourne (données quadrillées) pour la période 1975-1999 et 2000-2017.

Les précipitations ont également montré des variations considérables. La figure 16 montre en haut les précipitations mensuelles cumulées pour les périodes 1975-1999 et 2000-2017, tandis qu'en bas les différences ont été mises en évidence. La figure montre comment, par rapport à une augmentation des précipitations en hiver, probablement associée à une augmentation de la température au cours de ces mois, il y a eu par contre une forte diminution des précipitations pendant l'été et le printemps, avec des pics de plus de 40% de pluie en moins aux mois d'avril et août.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



4.3 Analyse climatique: scénarios futurs

Scénarios climatiques futurs

Le schéma climatique de la ville de Livourne pour les prochaines décennies a été obtenu à partir de données générées par des modèles climatiques à échelle mondiale. Dans cette analyse, en particulier, le modèle LARS WG5 a été utilisé (Semenov 1998, 2002). En général, les modèles de circulation générale sont basés sur des scénarios de concentration de gaz à effet de serre et sont produits conformément aux directives du GIEC (Groupe d'experts international sur l'évolution du climat) (GIEC, 2013). Les scénarios qui sous-tendent les projections du RE5 (rapport d'évaluation V, RE5 ou rapport d'évaluation) sont connus sous le nom de trajectoires de concentration représentatives (RCP) car ils sont exprimés en termes de concentrations de gaz à effet de serre (le résultat des émissions) plutôt qu'en termes de niveaux d'émissions. Chaque scénario implique un' entité différente du changement climatique produite par les activités humaines (par exemple, chaque RPC montre une quantité différente de chaleur supplémentaire stockée dans le système terrestre à la suite des émissions de gaz à effet de serre) à laquelle les variables météorologiques et leur intensité sont par conséquent associées. (Figure 17).

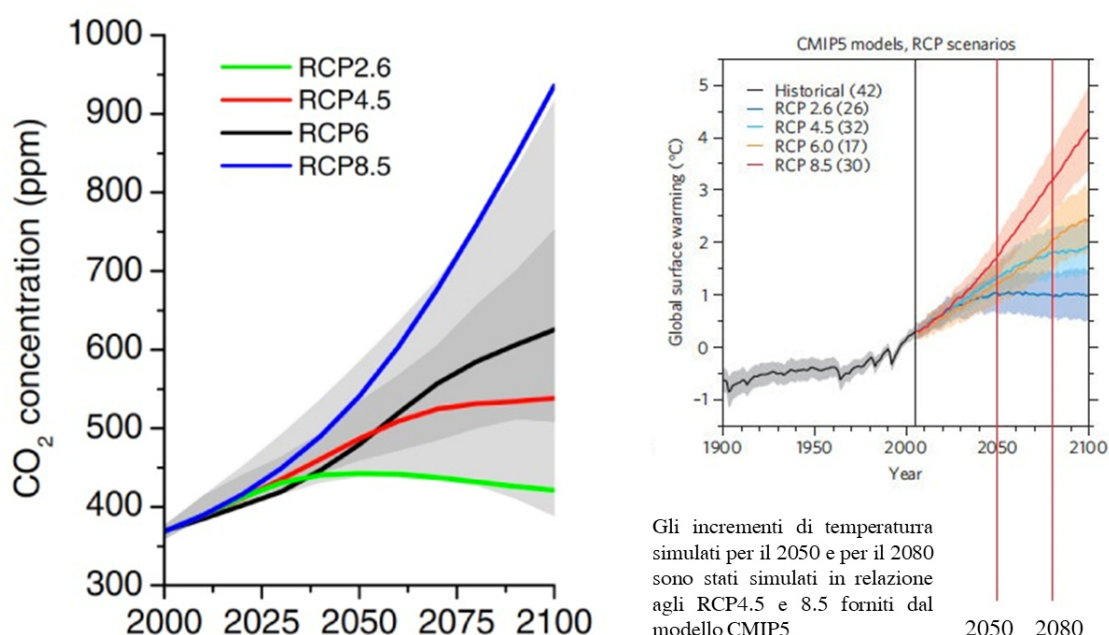


Figure 17- Concentration de CO₂ hypothétique pour les différentes RCP (à gauche) et augmentation relative de la température de la surface de la Terre (à droite) hypothétique jusqu'à la fin du siècle. Source GIEC 2013 et Knutti & Sedlacek (2012).

Les scénarios climatiques reflètent un large éventail d'évolutions possibles du système terrestre, prévoyant ainsi de différents modèles en fonction d'aspects tels que l'accroissement démographique, l'évolution technologique, les politiques sociales, etc. Le nombre associé à chaque CPP indique la force du changement climatique généré par l'activité humaine d'ici 2100 par rapport à la période préindustrielle. Il existe 4 types de scénarios:

- a) RCP2.6 : adopte des stratégies "agressives" pour lesquelles les émissions de gaz à effet de serre commenceront à diminuer au bout de 10 ans environ et seront pratiquement nulles plus ou moins en 60 ans à compter de la période actuelle.
- b) RCP4.5 : (moyen- faible) adopte des stratégies qui prennent certaines initiatives



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



pour contrôler les émissions. C'est un scénario qui suppose une stabilisation des émissions. D'ici 2070, les émissions de CO₂ tomberont au-dessous des niveaux actuels et la concentration atmosphérique se stabilisera, d'ici la fin du siècle, à environ deux fois plus que les niveaux préindustriels.

- c) RCP6.0: (moyen-élevé) Bien que très semblable au scénario 4.5, les émissions de CO₂, dans la RPC 6.0, continuent d'augmenter jusqu'à environ 2080. Les concentrations mettent plus de temps à se stabiliser et se situeront autour de 25%. Supérieur par rapport aux valeurs RCP4.5
- d) RCP8.5: Il adopte une approche «business as usual». D'ici 2100, les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère auront triplé ou quadruplé par rapport aux niveaux préindustriels

Si on les compare à une augmentation de la température, avec des variations dépendant de la taille des réductions de ces émissions, l'augmentation de la température moyenne mondiale à la surface du sol et des océans pour chaque RPC sera comprise dans un écart variant entre : + 0,37°C et + 4,8°C. Plus précisément, cet intervalle découle des hypothèses spécifiques des différents TPC: RCP8.5 = 2.6-4.8°C; RCP6.0 = 1,4-3,1°C; RCP4, 5 = 1,1-2,6°C; RCP2, 6 = 0,3-1,7°C

Variabilité climatique future

Les projections climatiques futures comportent un niveau d'incertitude relativement élevé. Cependant, ce niveau d'incertitude varie en fonction de la variable considérée. Par exemple, le niveau d'incertitude lié à l'évolution des précipitations, notamment en termes de quantité, est assez élevé. Il est en effet difficile d'associer cette variable à des pourcentages précis ou à des changements d'événements en termes d'intensité et de



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



fréquence.

Inversement, un niveau d'incertitude inférieur est plausible pour prévoir l'évolution des tendances de la température. Compte tenu de l'existence de telles incertitudes, souvent inhérentes à la méthodologie de création des données météorologiques elles-mêmes, il a été décidé d'envisager non seulement la variabilité des températures de manière linéaire (L; ou une augmentation constante chaque jour de l'année), mais aussi une variabilité saisonnière (VS) au changement climatique, afin de mettre en évidence un scénario alternatif mais toujours conforme et possible par rapport à ce qui pourrait se produire (Figure 10). L'analyse de la variabilité saisonnière a été utilisée conformément à la méthodologie fournie par le GIEC afin de réduire davantage le niveau d'incertitude dans l'analyse du climat. Les projections futures pour la ville de Livourne ont pris en compte deux scénarios climatiques (RCP 4.5 et 8.5), deux périodes (2050 et 2080) et les deux méthodes de variation climatique décrites précédemment (variation linéaire, L et saisonnière SV, figure 18).

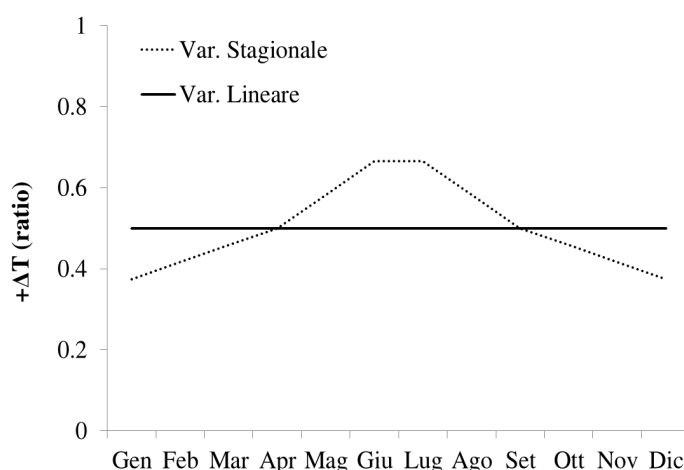


Figure 18 - Scénarios climatiques avec variation linéaire (L, ligne continue) et saisonnière (SV, ligne en pointillé). Dans les deux cas, l'augmentation annuelle moyenne de la température est égale.

Analyse climatique avec augmentation linéaire de la température

L'analyse climatique avec augmentation linéaire de la température fait référence à la génération de scénarios climatiques futurs prévoyant une augmentation constante de la température pour tous les mois de l'année. Les scénarios climatiques ont été générés en utilisant RCP4.5 à 2050 et 2080, correspondant à une augmentation de température de + 1,2°C et à + 2°C, respectivement, et RCP8.5 à 2050 et 2080, correspondant à une augmentation de température respectivement + 1,8°C et + 3°C

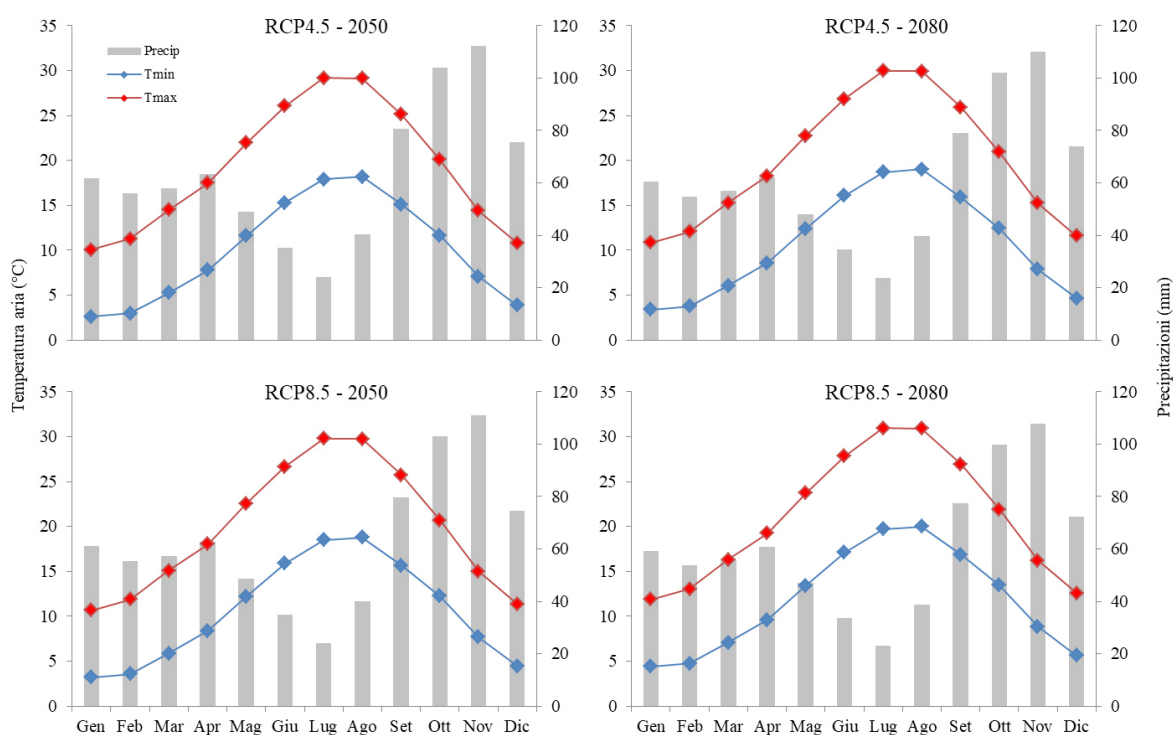


Figure 19 - Tendence mensuelle des températures maximales et minimales et des précipitations pour les scénarios climatiques obtenus en considérant une augmentation quotidienne de la température linéaire. Le graphique montre les tendances pour les RCP4.5 et RCP8.5 par rapport aux périodes 2050 et 2080

L'augmentation de la température linéaire avec les données obtenues par LARS-WE ver5 montre une tendance générale à l'augmentation de la température tout le long de l'année pour tous les scénarios sélectionnés et les périodes futures. L'augmentation de



la température a été rendue sous forme de pourcentage montrant l'impact par rapport à la période actuelle. Comme prévu, une évolution prévoyant les conditions représentées en 2080 à l'aide du scénario RCP8.5 semble être celle qui a provoqué les conditions les plus extrêmes, c'est-à-dire un climat caractérisé par une augmentation remarquable des températures minimale et maximale, en particulier pendant les mois les plus froids (décembre, janvier et février).

Mois	Ligne de base (1975-2017)	RCP45_L		RCP45_SV		RCP85_L
		2050	2080	2050	2080	2050
---	---					
Jan	1.41	2.61	3.41	2.31	3.11	3.21
Fév	1.77	2.97	3.77	2.77	3.57	3.57
Mar	4.07	5.27	6.07	5.17	5.97	5.87
Avr	6.58	7.78	8.58	7.78	8.58	8.38
Mai	10.42	11.62	12.42	11.82	12.62	12.22
Juin	14.09	15.29	16.09	15.69	16.49	15.89
Juil	16.70	17.90	18.70	18.30	19.10	18.50
Aôut	17.00	18.20	19.00	18.40	19.20	18.80
Sep	13.88	15.08	15.88	15.08	15.88	15.68
Oct	10.45	11.65	12.45	11.55	12.35	12.25
Nov	5.87	7.07	7.87	6.87	7.67	7.67
Déc	2.65	3.85	4.65	3.55	4.35	4.45
Jan	8.87	10.07	10.87	9.77	10.57	10.67
Fév	10.07	11.27	12.07	11.07	11.87	11.87
Mar	13.31	14.51	15.31	14.41	15.21	15.11
Avr	16.26	17.46	18.26	17.46	18.26	18.06
Mai	20.74	21.94	22.74	22.14	22.94	22.54
Juin	24.84	26.04	26.84	26.44	27.24	26.64
Juil	27.97	29.17	29.97	29.57	30.37	29.77
Aôut	27.93	29.13	29.93	29.33	30.13	29.73
Sep	23.93	25.13	25.93	25.13	25.93	25.73
Oct	18.91	20.11	20.91	20.01	20.81	20.71
Nov	13.22	14.42	15.22	14.22	15.02	15.02
Déc	9.59	10.79	11.59	10.49	11.29	11.39

Tableau 4 - Variations mensuelles moyennes des températures minimale et maximale pour les scénarios (RCP45 et 8.5) et les périodes (2050 et 2080) choisis par rapport au scénario de référence (1975-2017) en utilisant à la fois l'analyse prenant en compte la variation climatique linéaire (L) mais aussi la variation saisonnière (SV).



Pour une analyse détaillée, les extrêmes thermiques ont été, par la suite, analysés, identifiés comme jours avec une température quotidienne minimale de $<0^{\circ}\text{C}$ et maximale de $>30^{\circ}\text{C}$. Par cette analyse, on a évalué les variations du nombre de jours qui présentent ces températures parmi la période actuelle considérée entre 1975 et 2017 et l'avenir (tableau 5).

		Ligne de base			RCP45-2050		RCP45-2080		RCP85-2050	
		Totale	Tmin (FD)	Tmax	Tmin (FD)	Tmax	Tmin (FD)	Tmax	Tmin (FD)	Tmax
Année	Jours (n°)	15706	1420	632	892	1202	615	1697	680	1599
	Jours (%)	1	0.09	0.04	0.057	0.077	0.039	0.108	0.043	0.102
	Variation (%)	---	100%	100%	-36.67	92.50	-56.67	170.00	-52.22	155.00
Printemps	Jours (n°)	3913	8	68	2	153	1	236	1	213
	Jours (%)	100%	0.20	1.74	0.05	3.91	0.03	6.03	0.03	5.44
	Variation (%)	---	100%	100%	-75.00	125.00	-87.50	247.06	-87.50	213.24
Été	Jours (n°)	3956	---	551	---	1036	---	1444	---	1355
	Jours (%)	100%	---	13.93	---	26.19	---	36.50	---	34.25
	Variation (%)	---	100%	100%	---	88.02	---	162.07	---	145.92
Automne	Jours (n°)	3870	441	---	243	---	167	---	178	---
	Jours (%)	100%	11.40	---	6.28	---	4.32	---	4.60	---
	Variation (%)	---	100%	---	-44.90	---	-62.13	---	-59.64	---
Hiver	Jours (n°)	3967	996	---	626	---	434	---	484	---
	Jours (%)	100%	25.11	---	15.78	---	10.94	---	12.20	---
	Variation (%)	---	100%	---	-37.15	---	-56.43	---	-51.41	---

Tableau 5 - Variation des extrêmes de température minimale ($<0^{\circ}\text{C}$, jours de gel, FD) et maximale ($>30^{\circ}\text{C}$) sur une base annuelle et saisonnière par rapport au nombre total (% de jours) et par rapport aux extrêmes de la période actuelle (base, 1975-2017) sur la base d'une analyse climatique linéaire (L) et des scénarios (RCP45 et 8.5) et des périodes (2050 et 2080) choisies.

En analysant le tableau 5, il apparaît qu'à l'approche de la fin du siècle et dans le scénario plus chaud (RCP8.5), on observe une diminution importante du nombre de jours avec des températures inférieures à 0°C et une augmentation constante du nombre de jours avec des températures supérieures à 30°C . Inversement, les températures maximales supérieures à 30°C qui, pour la période en cours, représentent



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



4% du total annuel (soit en moyenne 15 jours par an), devraient augmenter jusqu'à 14,8% (en moyenne environ 52 jours par an). Sur une base saisonnière, en ce qui concerne les jours de gel, il y a une diminution progressive pendant les périodes d'automne et d'hiver-printemps dans les deux RPC, avec des réductions proches de 90%, principalement pendant la période de printemps. En ce qui concerne les températures maximales > 30°C, une augmentation substantielle est observée à la fois en été et au printemps, avec des augmentations supérieures à 400%, en particulier au printemps.

Analyse climatique avec augmentation de température variable

L'analyse climatique avec une augmentation de température variable, en fonction de la saison (SV), fait référence à la génération de scénarios climatiques futurs qui prévoient une augmentation différente de la température au cours des différents mois de l'année. Les scénarios climatiques ont été générés en utilisant RCP4.5 à 2050 et 2080, correspondant à une augmentation de température de + 1,2°C et à + 2°C, respectivement, et RCP8.5 à 2050 et 2080, correspondant à une augmentation de température respectivement + 1,8°C et + 3°C (figure 20). L'augmentation de la température saisonnière avec les données obtenues par LARS-WE ver5 montre une tendance générale à la hausse de la température tout au long de l'année pour tous les scénarios sélectionnés et les périodes futures. Comme prévu, une évolution qui prévoit la situation en 2080, en utilisant le scénario RCP8.5, s'avère être celle qui cause les conditions les plus extrêmes. Contrairement aux graphiques représentant l'augmentation de la température linéaire, le schéma climatique prend une forme légèrement différente, avec un pic de la gaussienne plus prononcé en été que par rapport à des valeurs plus basses en hiver.

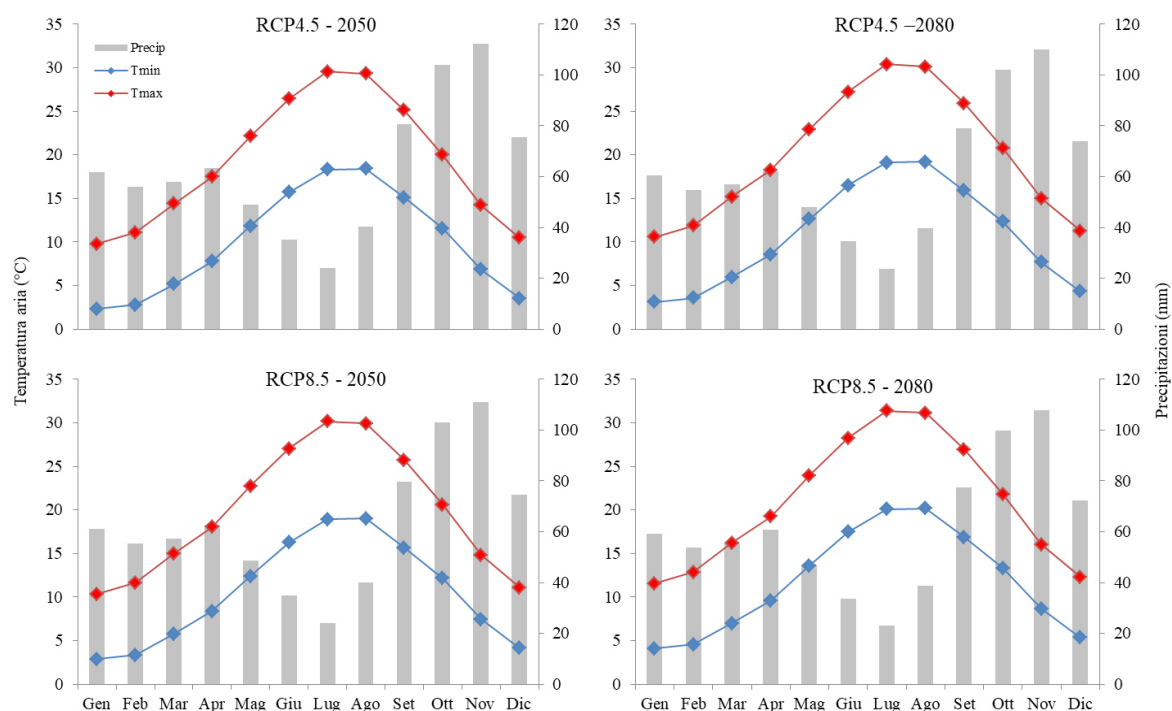


Figure 20 - Tendence mensuelle des températures maximales et minimales et des précipitations pour les scénarios climatiques obtenus en considérant une augmentation quotidienne de la température variable. Le graphique montre les tendances pour les RCP4.5 et RCP8.5 par rapport aux périodes 2050 et 2080

Mois	Ligne de base	RCP45_L		RCP85_L		Ligne de base	RCP45_L		RCP85_L	
---	(1975-2017)	2050	2080	2050	2080	(1975-2017)	2050	2080	2050	2080
Tmin (°C)						Tmax (°C)				
Jan	1.41	2.31	3.12	2.90	4.12	8.87	9.76	10.56	10.38	11.53
Féb	1.77	2.76	3.56	3.36	4.57	10.07	11.08	11.88	11.68	12.89
Mars	4.07	5.17	5.98	5.78	6.96	13.31	14.37	15.17	15.04	16.24
Avr	6.58	7.76	8.55	8.36	9.61	16.26	17.40	18.21	18.05	19.19
Mai	10.42	11.77	12.61	12.40	13.65	20.74	22.19	23.02	22.81	23.85
Juin	14.09	15.64	16.49	16.34	17.47	24.84	26.33	27.32	27.08	28.32
Juil	16.7	18.37	19.04	18.87	20.04	27.97	29.65	30.49	30.21	31.33
Aôut	17	18.36	19.21	19.04	20.23	27.93	29.33	30.16	29.89	31.00
Sep	13.88	15.13	15.82	15.68	16.93	23.93	25.13	25.84	25.84	27.04
Oct	10.45	11.60	12.33	12.12	13.38	18.91	20.04	20.80	20.61	21.75
Nov	5.87	6.87	7.69	7.45	8.69	13.22	14.28	15.07	14.81	16.00
Déc	2.65	3.55	4.35	4.16	5.35	9.59	10.45	11.32	11.12	12.28

Tableau 6 - Variations mensuelles moyennes de la température minimale et maximale pour les scénarios (RCP45 et 8.5) et les périodes (2050 et 2080) choisies par rapport au scénario de référence (1975-2017) à l'aide de l'analyse de la variation saisonnière



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Toujours dans le cas du tableau 6, il convient de noter que l'analyse climatique prenant en compte la variabilité saisonnière prévoit les conditions les plus extrêmes jusqu'en 2080 selon le scénario RCP8.5, avec un climat caractérisé par une augmentation moins marquée des températures minimales pendant les mois les plus froids (décembre, janvier et février), et une légère augmentation du maximum chez les plus chaudes par rapport à l'analyse climatique prenant en compte une variation linéaire des températures. Pour une analyse détaillée, les extrêmes thermiques ont ensuite été analysés, identifiés comme jours avec une température quotidienne minimale de $<0^{\circ}\text{C}$ et maximale de $> 30^{\circ}\text{C}$. Par cette analyse, on a évalué les variations du nombre de jours avec de telles températures parmi la période actuelle considérée entre 1975 et 1717 et l'avenir (tableau 7).

		Ligne de base			RCP45-2050		RCP45-2080		RCP85-2050	
		Totale	Tmin (FD)	Tmax	Tmin (FD)	Tmax	Tmin (FD)	Tmax	Tmin (FD)	Tmax
Année	Jours (n°)	15706	1420	632	988	1242	696	1697	753	1751
	Jours (%)	100%	0.09	0.04	0.063	0.079	0.044	0.108	0.048	0.111
	Variation (%)	- - -	100%	100%	-30.00	97.50	-51.11	170.00	-46.67	177.50
Printemps	Jours (n°)	3913	8	68	2	155	1	278	1	253
	Jours (%)	100%	0.20	1.74	0.05	3.96	0.03	7.10	0.03	6.47
	Variation (%)	- - -	100%	100%	-75.00	127.94	-87.50	308.82	-87.50	272.06
Eté	Jours (n°)	3956	----	551	----	1078	----	1584	----	1481
	Jours (%)	100%	----	13.93	----	27.25	----	40.04	----	37.44
	Variation (%)	- - -	100%	100%	----	95.64	----	187.48	----	168.78
Automne	Jours (n°)	3870	422	----	284	----	186	----	213	----
	Jours (%)	100%	10.90	----	7.34	----	4.81	----	5.50	----
	Variation (%)	- - -	100%	----	-32.70	----	-55.92	----	-49.53	----
Hiver	Jours (n°)	3967	970	----	686	----	490	----	530	----
	Jours (%)	100%	24.45	----	17.29	----	12.35	----	13.36	----
	Variation (%)	- - -	100%	----	-29.28	----	-49.48	----	-45.36	----

Tableau 7 - Variation des extrêmes de température minimale ($<0^{\circ}\text{C}$, jours de gel, FD) et maximale ($> 30^{\circ}\text{C}$) sur une base annuelle et saisonnière par rapport au nombre total (% de jours) et par rapport aux extrêmes pour la période en cours (base, 1975-2017) sur la base d'une analyse climatique saisonnière (SV) et de scénarios (RCP45 et 8.5) et de périodes sélectionnées (2050 et 2080).



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Si on analyse en détail le tableau 7, où les extrêmes thermiques ont été rapportés, (identifiés comme températures minimales quotidiennes $<0^{\circ}\text{C}$ et maximales $> 30^{\circ}\text{C}$), il apparait qu'en approchant la fin du siècle et sous le scénario le plus chaud, on observe une diminution importante du nombre de jours avec des températures inférieures à 0°C et une augmentation significative de jours avec des températures supérieures à 30°C . Les jours avec des températures maximales supérieures à 30°C , qui pour la période en cours représentent 4% du total sur la période 1975-2017, devraient augmenter jusqu'à 15,7%. Sur une base saisonnière, en ce qui concerne les jours de gel, il y a une diminution progressive pendant les périodes d'automne et d'hiver-printemps dans les deux RPC, avec des réductions proches de 90%, principalement pendant la période de printemps. En ce qui concerne les températures maximales $> 30^{\circ}\text{C}$, une augmentation substantielle est observée à la fois en été et au printemps, avec des augmentations supérieures à 500%, en particulier au printemps.

4.4 Conclusions

L'analyse climatique pour la ville de Livourne a mis en évidence le climat actuel de la ville, en tant que valeurs moyennes et extrêmes et les changements climatiques observés au cours des dernières décennies. Les valeurs moyennes ont fortement augmenté au cours des dernières décennies. Cela montre que le climat change constamment et rapidement et que ces changements pourraient avoir des répercussions dans de nombreux domaines. En outre, les projections climatiques futures pour la ville de Livourne ont mis en évidence une possible augmentation des températures qui, conjuguée à la survenue d'événements extrêmes de températures et de précipitations, suggère que l'ensemble de la zone étudiée pourrait être confrontée, en cas d'absence totale de mesures d'atténuation, à des problèmes concernant divers secteurs tels que les secteurs de l'agriculture, de la construction, des transports, des



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



infrastructures et de l'énergie. Au cas où il serait impossible de limiter les émissions de gaz à effet de serre et donc ce chauffage dans une certaine limite, avec une tendance au scénario climatique "pire" (RCP8.5), l'analyse des indices climatiques extrêmes a suggéré une augmentation probable du risque aussi pour la santé. D'une manière générale, les changements climatiques observés et notamment ceux prévus dans les décennies à venir pourraient avoir des répercussions importantes sur l'économie de la ville, avec des politiques économiques et sociales qui devront être de plus en plus développées et basées à la fois sur la prévention et la gestion du risque climatique dans tous les différents domaines d'impact. Dans ce contexte, il sera nécessaire de fournir des plans d'adaptation capables de réduire l'impact de l'augmentation attendue des températures et des phénomènes extrêmes, par exemple l'augmentation de la végétation urbaine, la modification des surfaces réfléchissantes (changement d'albédo de surface) et des stratégies spécifiques de gestion pour le secteur agricole.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



5 Analyse de l'impact du changement climatique sur les principaux problèmes locaux

La variation statistiquement significative d'un ou plusieurs paramètres climatiques peut avoir des effets très importants sur les infrastructures humaines. En particulier si l'on tient compte de la pluie, l'équilibre hydrologique de la zone urbaine entraîne des effets d'accumulation et d'inondation qui peuvent créer de grands désagréments et des dommages pour les habitants et les économies locales.

L'eau aura tendance à s'accumuler lorsque le taux d'infiltration dans le sol et l'écoulement sur le sol ne sont pas suffisants, s'accumulant principalement dans les zones déprimées.

Le système d'évacuation des eaux de surface (égouts dans la zone urbaine, simple écoulement vers les plans d'eau et les plans d'eau eux-mêmes) permettra ensuite une élimination progressive des eaux accumulées précédemment.

Dans cet ouvrage, les effets de la pluie ont été analysés en particulier par rapport aux effets de l'accumulation par écoulement de surface, tandis que l'analyse des inondations des rivières et des ruisseaux a été exclue puisque cet effet est étudié dans les plans de structure hydrogéologique intégrés dans le plan structurel de la municipalité de Livourne.

Afin d'analyser l'impact du changement climatique attendu, en particulier en ce qui concerne les événements météorologiques, dans la municipalité de Livourne, le système urbain a été analysé en détail dans les composantes qui influencent l'équilibre hydrologique, en se concentrant en particulier sur les composantes d'entrée et de sortie dans une surface principalement imperméable.



5.1 Étude des précipitations dans la région en objet

Les approches possibles pour l'évaluation des risques d'inondation sont 3 : Approche simplifiée, approche FID et approche détaillée. L'approche utilisée pour l'estimation de la pluie a été celle liée aux courbes FID - Intensité Durée Fréquence, car elles représentent la synthèse de la distribution des fréquences extrêmes de pluie par zone, durée et temps de retour attribués. Pour la modélisation hydraulique, l'approche détaillée a été utilisée afin de transformer les flux entrants en flux sortants de surface et par conséquent les accumulations superficielles d'eau de pluie.

L'analyse a également porté sur la réponse du système urbain (sensiblement imperméable) à des événements très intenses et localisés (souvent définis comme des bombes à eau).

5.2 Le changement climatique au niveau local

A fin d'évaluer l'impact des précipitations extrêmes, les changements dans les précipitations extrêmes annuelles au fil du temps ont été évalués.

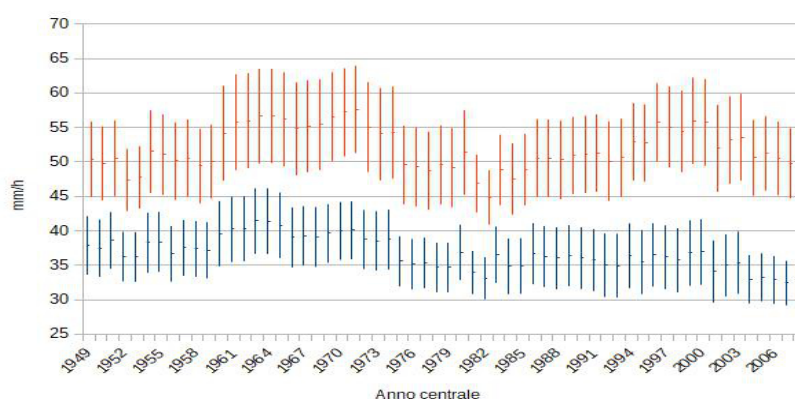


Fig. 21_Variation dans le temps des précipitations extrêmes annuelles (durée $t=1$ heure en bleu et $t=3$ heures en rouge). Ce chiffre est la moyenne d'une fenêtre mobile de 21 ans (représentée pour l'année centrale) des précipitations maximales par durée assignée. La barre de variation représente la largeur de l'intervalle de confiance à 95% (échantillon) de la distribution des fenêtres.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

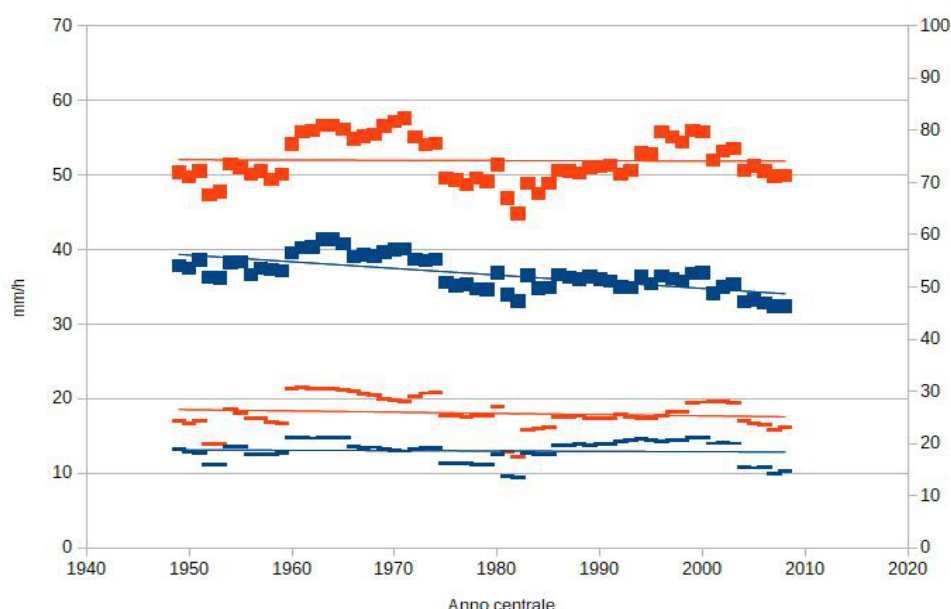


Fig. 22_ Moyenne (carrés) et écart-type (tirets) pour $t=1$ heure de pluie (bleu) et $t=3$ heures (graphique rouge), avec fenêtre mobile de 21 ans. Représenter également les lignes de tendance.

Comme on peut le voir dans les deux graphiques ci-dessus, les précipitations extrêmes (annuelles) pour la période considérée montrent une diminution des précipitations moyennes et une réduction de l'écart-type. Cela est évident tant pour les précipitations d'une heure que pour les précipitations de trois heures (même si ces dernières de manière moins évidente).

On peut donc conclure que les précipitations extrêmes (précipitations annuelles maximales pour une durée déterminée) diminuent légèrement en tant qu'intensité maximale, mais qu'elles sont en revanche plus fréquentes (variabilité réduite au sein du sous-échantillon avec $n=21$).



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



5.3 Modélisation des simulations

Ce qui précède contraste avec l'observation d'événements pluvieux intenses et très localisés dus à des effets qui s'additionnent et qui, au niveau des micros zones, peuvent conduire à des concentrations bien plus élevées que celles prévues par les modèles classiques tels que les courbes FID. En fait, il faut rappeler que celles-ci sont basées sur un réseau de surveillance ponctuelle et, surtout, que le traitement des courbes passe par la régionalisation des précipitations, c'est-à-dire un système mathématique capable de spatialiser les données ponctuelles et de les rendre ainsi applicables à tout un territoire, afin d'estimer l'importance de l'afflux de pluie dans tout le bassin. Cela signifie que si un seul pluviomètre, dans le bassin, enregistre une donnée même bien supérieure à celles des environs, au niveau de la zone, l'effet de l'augmentation des paramètres de prévision (courbes LSPP) sera nul ou presque nul. Néanmoins, l'événement est présent et pourrait se produire, dans le cas de micro-bassins comme dans les zones urbaines, avec des effets considérables.

Dans le cadre de l'étude des effets du changement climatique et, plus particulièrement, des effets à l'échelle macro et méso dans la circulation générale de l'atmosphère, il est important de souligner que ces variations sont de toute façon soumises à un certain niveau d'incertitude qui peut rendre les scénarios de simulation plus complexes à représenter à l'aide d'une simple ligne. Pour surmonter cette limitation des paramètres qui semble simpliste et avec une diminution proche de 0 et donc une incertitude sur la tendance réelle, des projections de variation des paramètres "a" et "n" utilisés dans le calcul des scénarios hydrauliques au niveau urbain ont été réalisées.



	Parametro	baseline	RCP4.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP8.5
		---	2050	2080	2050	2080
Valore	a	86.772	93.71376	100.6555	97.18464	104.1264
assoluto	n	0.27512	0.29713	0.319139	0.308134	0.330144
	a	---	+8%	+16%	+12%	+20%
%	n	---	+8%	+16%	+12%	+20%

Tableau 8_ Variation des paramètres a et n, utilisés dans le calcul des scénarios hydrauliques au niveau urbain, par rapport aux scénarios futurs et à l'intervalle de temps supposé.

5.4 Le modèle hydraulique

Il y a de plus en plus d'événements intenses mais extrêmement localisés qui ont des effets réduits au niveau du bassin hydrographique mais évidents au niveau de la concentration des eaux souterraines dans les micro-bassins. En outre, l'étude des inondations est largement codifiée et continuellement mise à jour, y compris au niveau régional.

Afin d'évaluer pleinement le phénomène des inondations, l'analyse a évalué les effets de la concentration dans les zones urbaines de la municipalité de Livourne, en tenant compte également de celles qui sont plus éloignées des cours d'eau qui, en raison de leur perméabilité et de leurs caractéristiques morphologiques, pourraient créer des dommages dus à une capacité d'évacuation des eaux insuffisante en raison de l'urbanisation et d'une planification urbaine incorrecte ou insuffisante.

L'identification d'un modèle hydrologique capable de prévoir les zones d'accumulation dues aux événements extrêmes s'est basée sur la disponibilité et la qualité des données. En effet, les modèles mathématiques les plus raffinés peuvent se heurter à l'absence, à l'incomplétude ou à l'incertitude des données d'entrée (c'est-à-dire celles nécessaires à l'initialisation du modèle), ce qui entraîne une lenteur dans le traitement des données et une absence d'amélioration évidente des données de sortie.



Dans cette perspective, différents modèles ont été comparés, en mettant en évidence pour chacun les paramètres d'entrée et de sortie et en énumérant les avantages et les inconvénients :

Modèle	Avantages	Désavantages	Entrée	Sortie
GEOMORPHIC FLOOD AREA	Haute vitesse	<i>Il ne tient pas compte de l'utilisation des terres. Les données d'entrée doivent être en format texte (*.txt)</i>	<i>filled DEM, flow direction DEM, flow accumulation DEM</i>	<i>Flood mapping</i>
FLOODRISK	<i>c'est le modèle plus complet du précédent et prend également en compte les données sociales et urbaines</i>	<i>il nécessite d'une très grande quantité de données d'entrée qui ne sont pas disponibles</i>	<i>Raster map water accumulation, Raster map flowing velocity, vector map of warning time, occupancy time, depth damage curves, fatality rate, flood severity, census data layer, urban</i>	<i>Flood mapping, Flood damages mapping</i>
FREEWAT	<i>assez lent, bilan hydrologique complet (y compris l'évaporation et l'évapotranspiration), Utile pour la gestion des ressources en eau (eaux souterraines et de surface)</i>	<i>installation difficile (et donc répétabilité pour les non-experts).</i>		
ITZİ	<i>Très complet, Modèle distribué et à intervalle de temps pour les phénomènes d'accumulation, Données pour la simulation sur le territoire analysé</i>	<i>assez lent pour la taille de Livourne</i>	<i>DTM raster mapping, raster map land use, DTM raster mapping infiltration rate, DM raster mapping inflow, rain intensity, step time, during time</i>	<i>RASTER Mapping flow velocity, Raster Mapping water accumulation, Hydrological processes simulation like rainfall and infiltration, Bi-directional coupling between the drainage and the surface</i>



Pour la combinaison de la facilité d'utilisation, de la possibilité de trouver les données nécessaires à la simulation, de la vitesse d'exécution du code, de la portabilité aux systèmes Gis OpenSource (GRASS et Qgis), le choix du code a été celui du modèle hydrologique Itzi. En gros, le code fournit un calcul, cellule par cellule, de l'équilibre hydrologique. Une pluie de durée et d'intensités déterminées est simulée et le code procède au calcul pour savoir si la cellule a un équilibre hydrologique 0 (c'est-à-dire si elle s'infiltre ou perd par afflux, tout) ou si celui-ci est supérieur à 0. Dans cette deuxième hypothèse, il y a deux possibilités : le ruissellement vers une ou deux cellules en aval (la voie de drainage préférée est vers la cellule avec la différence de hauteur maximale, mais dans l'hypothèse de deux cellules adjacentes avec la même différence de hauteur, on peut avoir une direction de flux multiples). Deuxième hypothèse l'accumulation de la différence entre l'eau entrante (à la fois l'eau qui pleut dans la cellule dans le palier donné comme celle qui arrive à la cellule par afflux latérale) et l'eau qui sort de la cellule (par infiltration, ruissellement latéral, perte sur le single collecteur).

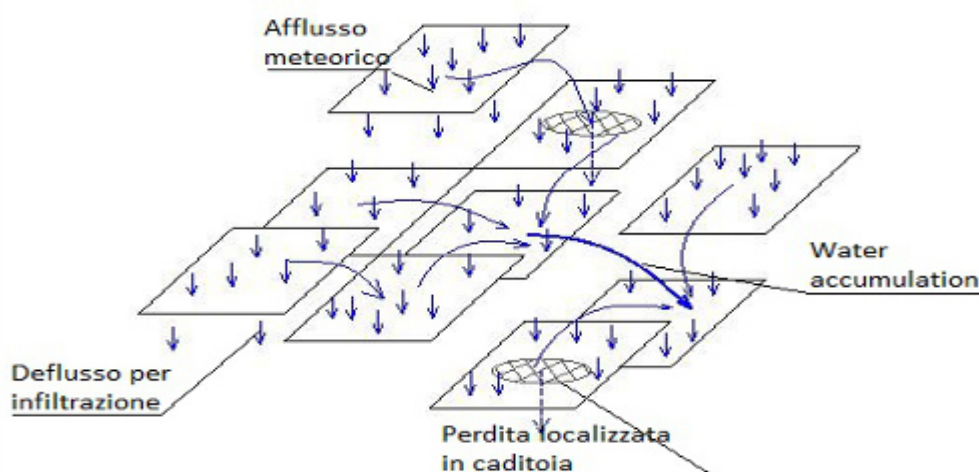


Schéma du bilan hydrique au niveau des cellules



Le résultat est une accumulation d'eau cellule par cellule qui provoque des inondations. Le calcul du débit de surface est optimisé en fonction des coefficients de Manning (rugosité hydraulique) pour le glissement, la pente, le différentiel de temps, dans les deux directions (x et y dans un système de maillage carré DEM).

Pour la mise en œuvre du modèle, les bases de données suivantes ont donc été trouvées et mises en place:

Donnée	Format
Edifié	Shape file (Vecteur rastérisé par la suite)
Limites de la Commune di Livorno	Shape file (Vecteur rastérisé par la suite)
Utilisation des sols, format vectoriel (simplifiée par des filtres successifs pour obtenir un zonage de l'infiltration)	Shape file (Vecteur rastérisé par la suite)
Géologie de la région de la municipalité de Livorno	Shape file (Vecteur rastérisé par la suite)
DEM (Modèle Numérique d'Élévation) détail 1 m dérivé de la mesure LIDAR	Tiff (Raster)

Disponibilité des données nécessaires au modèle et dans la disponibilité de la municipalité de Livorno

Les données énumérées ci-dessus sont disponibles dans les bases de données publiques mises à disposition par la Région de Toscane source Geoscope ou la municipalité de Livorno.

Donnée	Format
Disposition des collecteurs sur la ville de Livorno	Shape file (Vecteur ensuite zoné et rastérisé)

Disponibilité des données sur la disposition des collecteurs de Livorno



Cette donnée, fondamentale pour la modélisation correcte de l'accumulation d'eau dans les rues, n'est pas présente en format numérique et a donc été obtenue par photo-interprétation des scans des fiches de projet individuelles, fournis par la municipalité de Livorno en format PDF. De cette photo-interprétation on a obtenu un vecteur de plus de 8500 collecteurs, format ponctuel, utilisé dans les simulations d'accumulation de pluie.

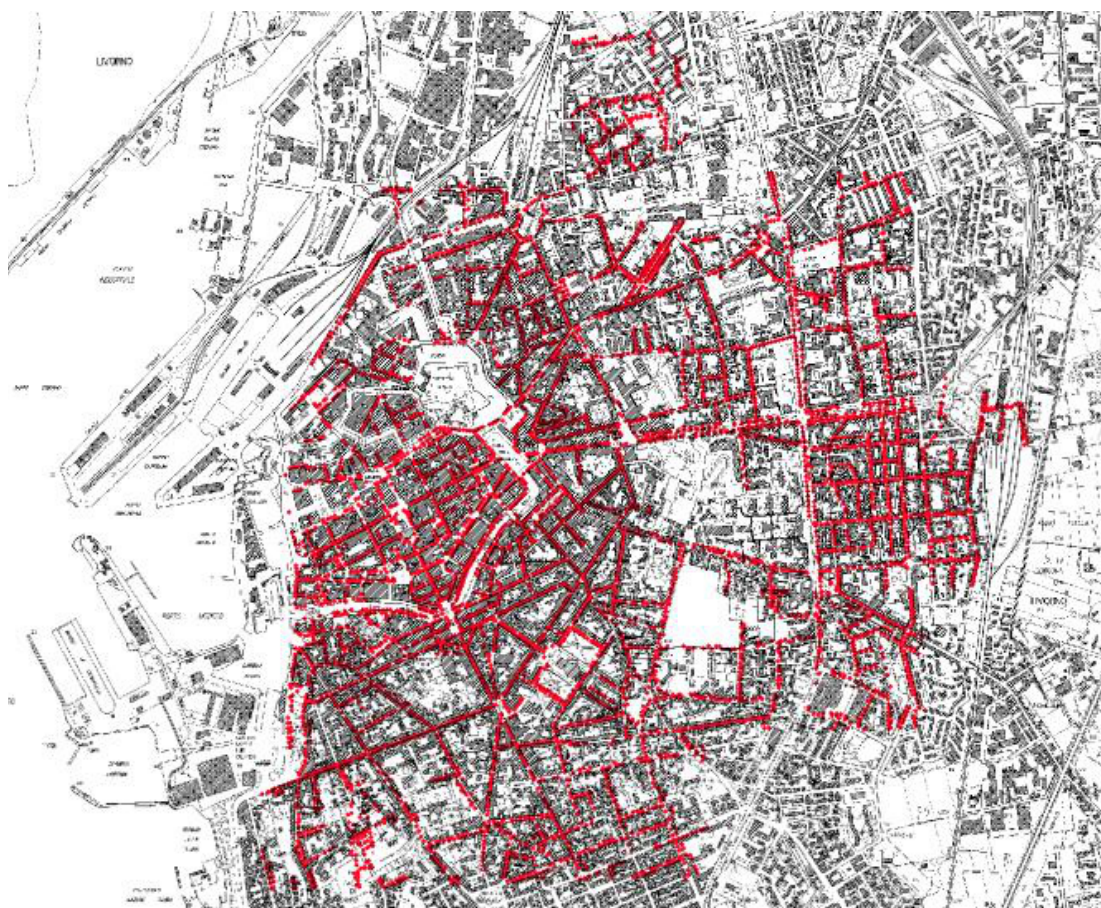


Fig. 23_Localisation des collecteurs photo-interprétés

Pour une analyse correcte de l'accumulation hydraulique, il était indispensable de connaître le temps nécessaire au fonctionnement du micro-bassin, c'est-à-dire le temps nécessaire pour qu'une goutte tombée au point le plus éloigné de la zone de drainage atteigne la zone la plus déprimée. Pendant ce temps, tous les débits d'entrée et de



sortie de la cellule unique se sont également stabilisés, d'où le temps à prendre en considération pour la détermination de la pluie critique. Bien entendu, chaque point d'accumulation doit avoir son propre temps de ruissellement spécifique mais, pour la simplicité et l'extensibilité des données simulées, il a été nécessaire d'en établir un seul au niveau de la zone urbaine. Celui-ci a une pente moyenne vers la mer d'environ 5‰ in direction Ouest, un coefficient de Manning pour l'asphalte égal à $1/70=0,01429 \text{ m}^{-2/3\text{S}}$ et, en supposant une vitesse d'environ 0,5-0,7 m/s (tirant de 5 cm), des temps allant de 1 à 2 heures. T=2 heures est le temps qui a été utilisé pour les simulations (les intensités de pluie peuvent être très variables pour T de durée, avec des variations de 1 à 3 heures enregistrées par les pluviomètres). Le modèle hydraulique a ensuite été calibré sur une zone réduite du centre de Livourne afin de le paramétrer correctement et d'étendre ensuite les simulations à l'ensemble du territoire urbanisé.

En ce qui concerne les égouts, on a supposé une capacité d'évacuation de 3,5 l/seconde par tirant d'eau (nous supposons un tirant d'eau immergé par un tirant d'eau même relativement élevé) pour un total de 25 200 l/événement (2 heures). L'étape de simulation a été considérée comme étant de 10' (12 résultats par événement).

Code de simulation	Intensité de la pluie (mm/h)	Temps simulation	présence collecteurs	Exemption
S0	10	2	Présents	Zone de calibrage
S1	21	2	Absents	Zone de calibrage
S2	21	2	Présents	Zone de calibrage
S3	30	2	Absents	Zone de calibrage
S4	30	2	Présents	Zone de calibrage
S5	36	2	Absents	Zone de calibrage
S6	36	2	Présents	Zone de calibrage
S7	47	2	Présents	Zone étendue
S8	58	2	Présents	Zone étendue

Temps de simulation, intensité des précipitations et présence de collecteurs dans les zones de simulation



5.5 Résultats

Le tableau ci-dessous présente les résultats des simulations. Les intensités des précipitations, l'accumulation maximale et moyenne et l'écart-type de l'accumulation sur la zone de simulation ont été représentés. Les valeurs maximales ont été obtenues dans des zones artificielles en dépression (rampes de descente et cours en sous-sol), où il n'y a probablement pas d'égouts publics. Cela a entraîné un manque dans la procédure de simulation des informations relatives au système d'écoulement forcé (pompes) puisque le plan a été déprimé par rapport à la route et au système d'égouts.

Code de simulation	Intensité de la pluie (mm/h)	Exemption	Stockage maximal de l'eau (cm)	Accumulation moyenne (m) et l'écart type (m)
S0	10	Zone de calibrage	25	0.020 - 0.0552
S1	21	Zone de calibrage	41	0.042 - 0.1090
S2	21	Zone de calibrage	35	0.038 - 0.0980
S3	30	Zone de calibrage	59	0.060 - 0.1490
S4	30	Zone de calibrage	51	0.055 - 0.1356
S5	36	Zone de calibrage	68	0.072 - 0.1729
S6	36	Zone de calibrage	65	0.065 - 0.1577
S7	47	Zone étendue	182	0.086 - 0.1833
S8	58	Zone étendue	182	0.1064 - 0.21876

Zones de calibration du modèle, avec intensité maximale et moyenne des précipitations et accumulation de pluie (mm/hr)

En conclusion, il résulte de ce qui a été simulé une situation où il existe des situations d'accumulation plus ou moins graves et, dans certains cas, même très graves sur le territoire. Cela est dû, comme déjà mentionné, à une morphologie et une imperméabilité très élevées (les zones de jardin ont été prises en compte mais elles ont un effet d'infiltration et donc une très faible réduction de l'accumulation), typiques des villes italiennes.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Le système de drainage urbain (égouts) ne semble pas suffisant, même pour des précipitations d'une intensité relative (10 mm/h pendant deux heures), mais pas sur l'ensemble du territoire. D'autres infrastructures (comme les garages souterrains ou les rampes d'accès) sont extrêmement dangereuses, surtout si les pompes de levage ne fonctionnent pas et que l'accumulation est plutôt rapide avec risque de noyade (pensez à une personne non préparée conduisant dans un garage complètement inondé).

Il convient également de noter, d'un point de vue strictement conceptuel, que le manque de données telles que la taille des tuyaux d'égout, leur hauteur par rapport à la masse d'eau réceptrice, la hauteur moyenne de la masse d'eau réceptrice pendant l'événement pluvieux, doit être considéré comme limitant puisque la simulation est réalisée en supposant que tous les drains fonctionnent. Toutefois, il est fort probable que les tuyaux d'évacuation, qui reçoivent les tuyaux de descente de chaque toit de la zone urbanisée, des gouttières et des drains, puissent atteindre le débit maximal. En conséquence, la réduction de la capacité d'évacuation des drains eux-mêmes et potentiellement dans une zone donnée (pas sur l'ensemble du territoire), et potentiellement aussi la réduction de leur régurgitation (la régurgitation peut être modélisée pour une meilleure adhérence du modèle à la réalité mais à ce jour toutes les données nécessaires ne sont pas disponibles) avec des accumulations encore plus importantes que celles simulées.

Dans les pages suivantes, nous rapportons les images relatives à la simulation réalisée avec le modèle décrit ci-dessus.



Interreg

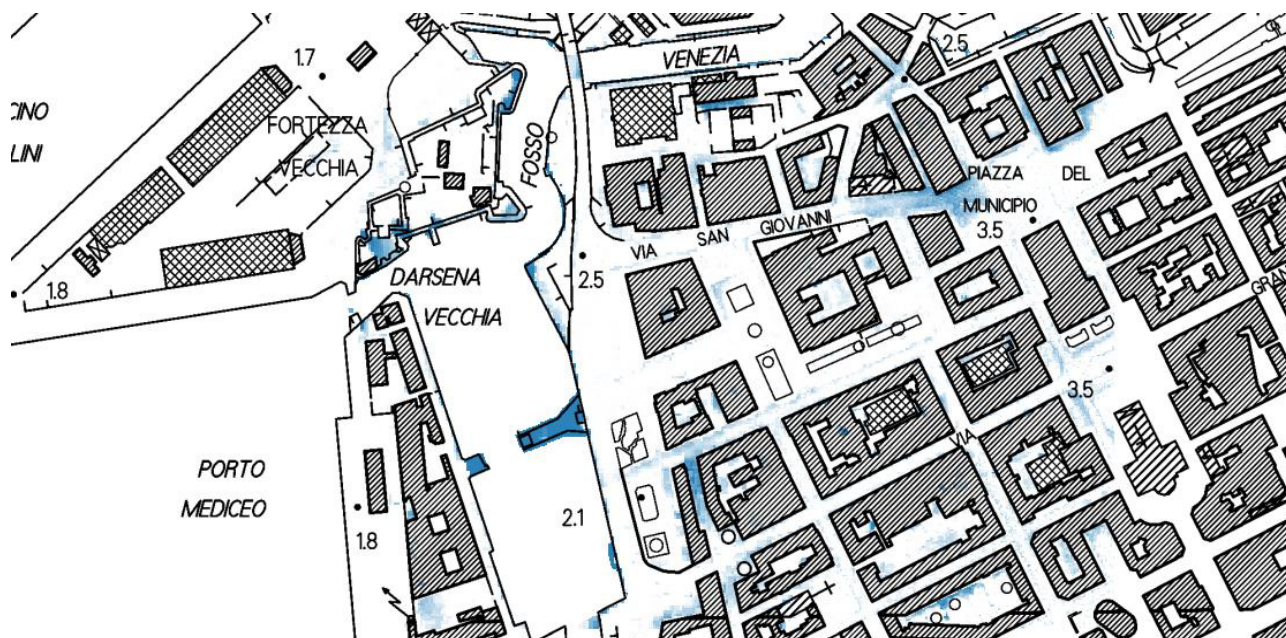


UNIONE EUROPEA

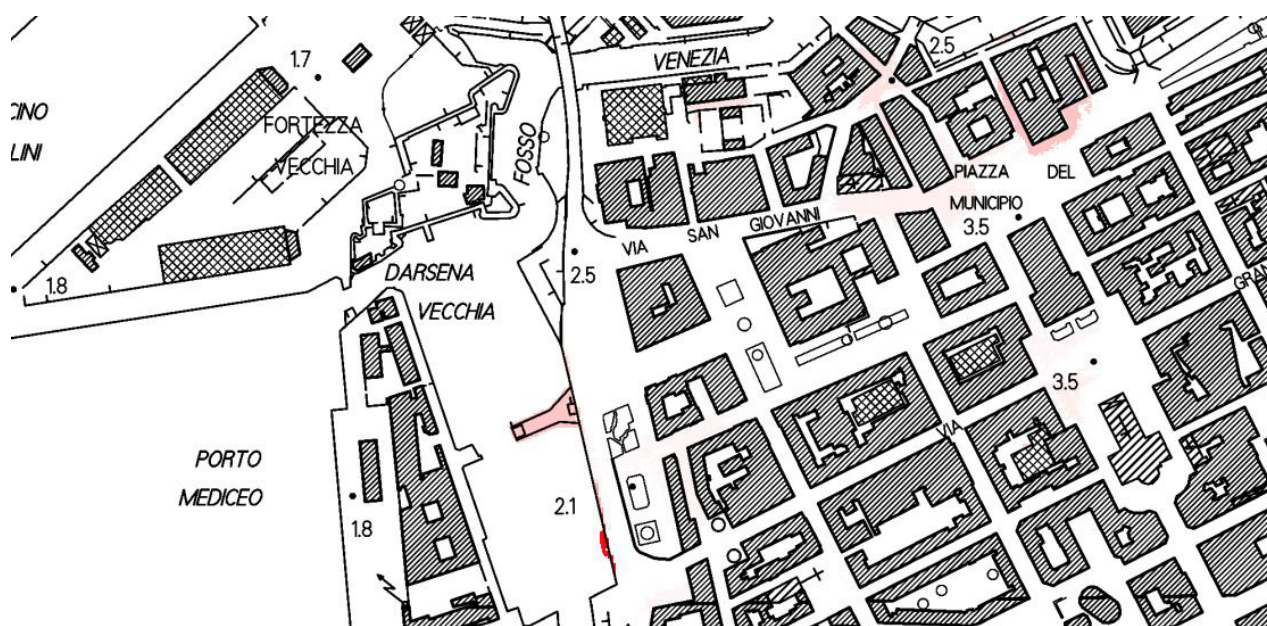


MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Intensité de la simulation 21 mm/h avec échantillonnage des égouts, étape 10', durée 2 heures



Zone de plus grande efficacité des drains : l'effet de ceux-ci est une accumulation d'environ 10 cm en moins



Interreg

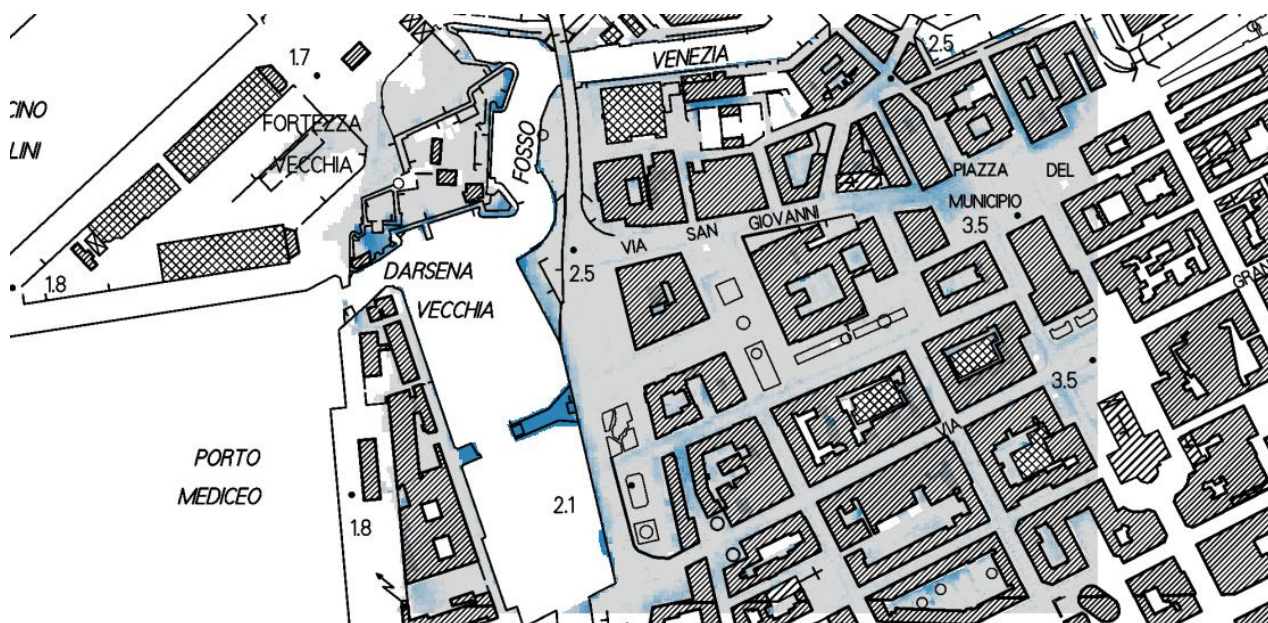


UNIONE EUROPEA

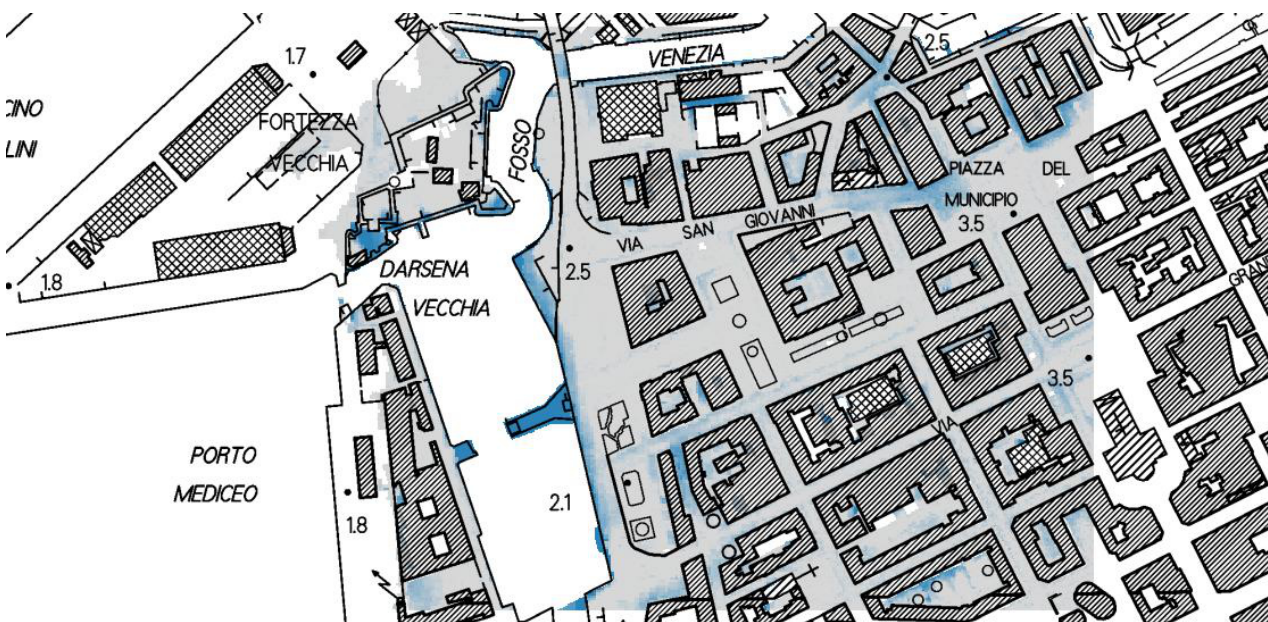


MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Simulation avec une intensité égale à 30 mm/h pendant 2 heures (étape 10')



Simulation avec une intensité égale à 36 mm/h pendant 2 heures (étape 10')



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



6 Actions d'adaptation

6.1 Objectifs d'adaptation

Un plan d'action local identifie et décrit, en relation avec chacune des criticités identifiées par le Profil Climatique Local (action T1.3) et par l'analyse de vulnérabilité, les lignes d'action principales (adaptation) avec lesquelles la Municipalité de Livourne entend "s'adapter" aux changements induits par l'évolution du climat en faisant face à ses criticités. Les actions spécifiques doivent avant tout répondre à des objectifs spécifiques et mesurables. Pour atteindre les objectifs de l'adaptation, il est nécessaire à la fois de minimiser les risques et de maximiser les opportunités.

En ce qui concerne le cas spécifique des risques d'inondation et des inondations pour la municipalité de Livourne, on peut distinguer plusieurs objectifs d'intervention spécifiques :

1. accroître la résilience de la communauté locale (population, autorités, entreprises, etc.) ;
2. accroître la résilience des biens à risque (infrastructures, patrimoine culturel, etc.) ;
3. améliorer la réponse hydrologique et hydraulique du territoire (mesures de conception et d'aménagement).
4. améliorer la réponse hydrologique et hydraulique de la ville (mesures de conception et de planification).

Comme indiqué dans le SNAC (Castellari et al, 2014) et le PNACC (MATTM, 2017), les principales mesures d'adaptation ont été classées comme

- (i) Doux (non infrastructurel) ;
- (ii) Gris (infrastructure) ;
- (iii) Vert (approche écosystémique).

Les principales actions concernent :



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



1. Actions dans le domaine de l'information, du développement de processus organisationnels et participatifs

- Activités de communication, de diffusion et de mise en réseau sur les risques et l'adaptation aux effets induits par le changement climatique (citoyens ; autorités locales ; parties prenantes).
- Mise en place d'un système d'information (données environnementales et sociales) capable de produire de nouvelles informations sur les risques
- Activités d'éducation à l'environnement

2. Actions dans le domaine de la gouvernance

- Adaptation des outils de planification et de transformation des municipalités (PUC, PRG, réglementation des constructions municipales ; réglementation des espaces verts publics et privés ; réglementation des travaux d'urbanisation ; plan de protection civile).

3. Actions dans le domaine de la surveillance et de l'alerte

- Mise en œuvre des systèmes de suivi préexistants
- Mise en œuvre de nouveaux systèmes de suivi

4. Ajustement structurel / Conception

- Adaptation des procédures d'appel d'offres pour l'attribution de services de marchés de conception et de travaux au moyen de critères d'attribution/points d'appréciation
- Approches d'analyse/étude concernant la résilience du travail face au changement climatique.



5. Écologisation et assainissement urbain

- réduire les volumes de ruissellement en surface en créant des conditions favorables à l'infiltration des sols ou à l'accumulation d'eau ;

En ce qui concerne le plan d'adaptation de la municipalité de Livourne, les principales mesures d'adaptation qui peuvent être adoptées et classées comme ci-dessus sont les suivantes :

Objectifs	Doux	Gris	Vert
Résilience de la communauté	<i>Actions dans le domaine de la formation et de l'information, de la gouvernance et de la gestion des crises</i>	<i>Surveillance et alerte</i>	
Résilience des biens		<i>Surveillance et alerte, ajustement structurel</i>	
Réponse hydrogéologique du territoire	<i>Actions dans le domaine de la formation et de l'information (avertir les citoyens des bonnes pratiques en matière d'entretien des espaces verts privés et des zones agricoles)</i>	<i>Surveillance et alerte, ajustement structurel</i>	<i>Gestion de la verdure dans le lit des rivières, gestion de l'eau, travaux hydrauliques et forestiers</i>
La réponse hydraulique de la ville		<i>Surveillance et alerte, ajustement structurel</i>	<i>Gestion de la verdure urbaine, gestion des travaux d'évacuation des eaux urbaines, gestion du pavage urbain</i>

Actions d'adaptation pouvant être adoptées et classification selon le type indiqué (doux, vert et gris)

6.2 Action pilote de la municipalité de Livourne

La municipalité de Livourne a choisi, comme action pilote financée par le projet ADAPT, la pose d'un trottoir drainant sur une portion de chaussée où les véhicules sont autorisés à stationner, qui est sujette à de fréquentes inondations en cas de fortes pluies.

Les trottoirs drainants sont une alternative valable aux parkings conventionnels en asphalte. En posant des dalles de béton perforées, l'eau de pluie est partiellement absorbée sur place au lieu de s'écouler rapidement dans le réseau d'égouts, avec les conséquences que l'on sait. Il est ainsi possible de minimiser une partie importante du ruissellement de surface dirigé vers le réseau d'égouts, qui est sous-dimensionné par rapport à l'intensité des précipitations et à l'augmentation des surfaces imperméabilisées. L'intervention a consisté dans la construction d'une surface totale d'environ 375,00 mètres carrés de blocs herbeux, qui, de par leur conformation, permettent le passage, la réduction et le ralentissement des pluies avec la stagnation à l'intérieur du bac de drainage routier constitué.



Fig. 24_ Assèchement du trottoir sur les places de stationnement de la Via Montebello à Livourne



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Il est souhaitable d'étendre l'action pilote à l'ensemble de la route (via Montebello) sur une longueur totale de 645,00 m supplémentaires et une superficie d'environ 2500,00 mètres carrés afin de réduire davantage les phénomènes d'inondation.

6.3 Fiches d'action pour l'adaptation

Les mesures d'adaptation aux risques d'inondation ont été identifiées par un groupe de travail municipal intersectoriel.

En analysant les lignes de mandat du maire et les instruments stratégiques et réglementaires relatifs au risque d'inondation en vigueur, chaque secteur de l'administration a produit un aperçu de la planification actuelle. A partir de ce résultat, en tenant compte de l'analyse de la vulnérabilité et des critiques locales, les principales lignes d'action d'adaptation par lesquelles la municipalité entend aborder le changement climatique, avec une attention particulière au phénomène des inondations urbaines, ont été définies.

Les actions d'adaptation identifiées ont été partagées avec les citoyens et les parties prenantes lors d'une réunion participative, au cours de laquelle le processus menant à l'élaboration du plan d'adaptation a été illustré.

De cette rencontre est née la volonté de la citoyenneté active de collaborer avec l'administration municipale, pour le soin et la gestion des biens communs. Des points de réflexion valables ont émergé concernant la planification des espaces verts et la cartographie de la fragilité sociale.

Les défis posés par le changement climatique ne peuvent être relevés qu'avec l'engagement synergique des administrateurs et des citoyens.

Vous trouverez ci-dessous un tableau synoptique général résumant toutes les actions :



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



	ADAPTATIONS
1	Ouvrages hydrauliques visant à égaliser les eaux de pluie et à se défendre contre les inondations urbaines.
2	Amélioration structurelle des systèmes de drainage en les adaptant aux besoins actuels grâce à une capacité d'évacuation accrue
3	Restauration de la perméabilité des sols grâce à l'utilisation de matériaux drainants
4	Construction de toits et de murs verts
5	Augmentation des espaces verts grâce à un plan de plantage de plantes
6	Positionnement des ouvrages hydrauliques dans les zones inondables
7	Entretien des systèmes de drainage par la définition d'une échelle de priorités et la programmation des interventions
8	Mise à jour de l'image cognitive du système de drainage du territoire urbanisé
9	Intégration des réseaux de surveillance pluviaux-hydrométrique
10	Développement de systèmes de surveillance à l'échelle micro territoriale à l'aide de nouvelles technologies
11	Rédaction de l'atlas urbain des éléments tombant dans des zones hydrauliquement dangereuses
12	Recensement des épisodes historiques de perturbations / inondations / événements météorologiques extrêmes
13	Développement d'un <i>système d'alerte</i> précoce avec des informations plus détaillées
14	Révision du plan municipal de protection civile
15	Exercices pour la mise en œuvre du plan de protection civile
16	Sensibilisation, par le biais des médias, aux risques et aux comportements appropriés en cas d'événement
17	Diffusion et communication des plans d'urgence de la protection civile
18	Adoption et intégration de nouvelles technologies grâce à des supports technologiques appropriés
19	Interventions de formation destinées aux administrateurs et aux fonctionnaires des organismes publics et du monde des affaires
20	Activation d'outils pour la diffusion des connaissances sur les risques d'inondation



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



21	Activation d'outils pour la diffusion des connaissances sur les risques d'inondation
22	Activation d'actions d'éducation à l'environnement pour les citoyens qui encouragent la diffusion de bonnes pratiques d'adaptation aux risques
23	Citoyenneté : partie active et responsable par la diffusion de bonnes pratiques telles que l'entretien des espaces privés et des espaces verts privés
24	Projet "sentinelles urbaines" développant un système de signalisation de criticité avec une référence particulière aux problèmes hydrauliques
25	Campagne #adottaunacaditoia : impliquer activement les citoyens dans le soin et le maintien du bien commun
26	Adoption du plan vert municipal pour une bonne gestion du patrimoine paysager local
27	Établissement du "Plan des bâtiments" avec une évaluation des bâtiments au regard du risque hydraulique
28	Mise en place de mesures d'incitation à la réduction du débit entrant dans le système de drainage pour stimuler les actions d'adaptation volontaires
29	Accord avec le Consortium de régénération des terres pour l'entretien de la petite grille hydrographique
30	Mise en place d'une table de coordination entre les secteurs municipaux
31	Lignes directrices pour l'analyse des projets de transformation urbaine
32	Réglementation de l'administration partagée des biens communs par l'extension des espaces verts disponibles



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



7 Mise en œuvre des actions, suivi et évaluation

7.1 Mise en œuvre des actions

Une fois que les mesures d'adaptation ont été identifiées, sur la base du contexte et de l'analyse des risques, elles doivent être mises en œuvre.

Le responsable du plan d'action local doit alors

- identifier un ou plusieurs organismes responsables de l'action ou du groupe d'actions ;
- définir l'horizon temporel pour la réalisation de l'action ;
- définir les ressources disponibles.

La complexité de l'attribution des rôles et des responsabilités dépendra de la complexité des actions individuelles et du nombre d'organes impliqués dans les décisions.

Il est d'une importance fondamentale d'attribuer une responsabilité interne spécifique à la municipalité.

Les lignes directrices pour l'élaboration de stratégies d'adaptation (CE, 2013) identifient cinq types d'instruments pour mener à bien des actions d'adaptation individuelles :

Les instruments législatifs tels que les lois, les règlements, les décrets, etc. Ils sont indiqués pour définir des normes de qualité ou pour la gestion de situations d'urgence, mais ne sont pas flexibles et politiquement risqués ;

Les instruments économiques tels que les taxes, les mesures incitatives, les dons, les prêts subventionnés, etc. Ils sont idéaux pour encourager l'innovation sur le marché, mais ils peuvent représenter un coût élevé en cas de mesures incitatives ou un risque d'impopularité en cas d'impôts ;

Outils d'information tels que campagnes, événements, études, etc., idéaux pour sensibiliser la population ou des catégories spécifiques d'acteurs, mais assez inefficaces pour résoudre des problèmes concrets ;

Les outils de partenariat tels que les accords volontaires entre entreprises, les



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



partenariats de projet, etc. Ils sont indiqués pour agréger les ressources de plusieurs acteurs, mais ils sont particulièrement complexes à gérer ;

Des outils hybrides tels que des programmes complets. Ils peuvent combiner de différents outils et faire face à l'adaptation de manière systémique, mais nécessitent de la coopération de nombreux acteurs et la mise en œuvre est donc complexe.

Le choix de l'instrument le plus approprié dépend à la fois de l'organisme responsable de l'action et de la nature de l'action elle-même.

Toutes les variables contribuent à façonner de différentes manières de gérer les actions avec des processus de décision de complexité différente.

Les sources potentielles de financement des actions d'adaptation peuvent être divisées en trois grandes catégories (AEE, 2017b) :

Sources gouvernementales : principalement des fonds non remboursables provenant des budgets des autorités européennes, nationales, régionales et locales.

Marché financier : produits financiers offerts par les banques ou d'autres institutions financières, tels que les prêts ou les garanties.

Entités privées : fondations, investisseurs immobiliers ou simples citoyens qui peuvent investir dans l'adaptation par le biais d'obligations dites "vertes" ou d'initiatives de collecte de fonds.

Compte tenu de la complexité de l'adaptation, les responsables de la mise en œuvre peuvent être confrontés à divers obstacles institutionnels, économiques, politiques, informationnels et techniques ou à une combinaison de ceux-ci.

Les obstacles récurrents dans la mise en œuvre des mesures d'adaptation (Giordano et al., 2013), peuvent être :

- Manque de connaissances scientifiques au niveau local (informations peu fiables/inadaptées pour l'aide à la décision);
- Connaissance limitée du sujet par la population ou accès limité à l'information;



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



- Faible capacité institutionnelle des organismes impliqués (publics ou privés) dans les processus de changement des habitudes et des comportements ;
- Manque de volonté politique et évolution des rôles politiques (une autorité engagée dans l'adaptation peut changer de représentant politique et provoquer une incertitude quant à l'avenir des mesures d'adaptation);
- Faiblesse de la gestion ou manque de personnel qualifié ou ayant le mandat nécessaire ;
- Limites financières (réduction du budget) ;
- Chevauchement des responsabilités entre les différentes institutions ;
- Difficultés dans la phase exécutive ;
- Manque de participation au processus décisionnel ;
- Faiblesse des preuves scientifiques de la réussite de l'adaptation.

7.2 Suivi, évaluation et rapports sur les actions

Les processus de suivi, d'évaluation et de rapport (MRV) analysent les progrès des mesures d'adaptation sur une période donnée. L'évaluation détermine son efficacité, tandis que le rapport communique et documente les résultats obtenus.

Ces outils sont flexibles car ils sont constamment mis à jour.

Lors de la définition du système MRV, les objectifs doivent être identifiés et mesurés, contrôlés et évalués. Par la suite, des indicateurs devraient être définis, qui devraient refléter les buts et objectifs du système MRV, sur la base de critères tels que :

- la disponibilité et la continuité des données ;
- l'existence d'indicateurs déjà développés ;
- la pertinence ;
- la représentativité ;
- l'efficacité économique.

Les indicateurs seront de préférence quantitatifs car ils permettent d'indiquer et de



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



quantifier des informations complexes. Lorsque cela n'est pas possible, des indicateurs qualitatifs peuvent être utilisés.

Les indicateurs seront à la fois des indicateurs de progrès, c'est-à-dire mesurant les progrès dans la mise en œuvre de chaque action individuelle, et des indicateurs d'efficacité, donc basés sur les résultats des actions d'adaptation.

7.2.1 Le système de contrôle

Le système de contrôle est divisé en trois phases :

- le suivi du plan (dans son ensemble),
- la surveillance des risques et de la vulnérabilité,
- le suivi des actions d'adaptation.

Les objectifs du suivi sont l'évaluation :

- l'efficacité des politiques mises en œuvre ;
- l'adéquation des ressources déployées ;
- la réalisation et la mise en œuvre des objectifs fixés ;
- la compréhension des intérêts en jeu.

Suivi du plan

Le plan d'adaptation local est un outil opérationnel qui doit être évalué quantitativement en termes de faisabilité, afin de vérifier la réalisation des actions fixées et les objectifs à atteindre (cibles).

Des indicateurs minimums ont été identifiés dans le tableau ci-dessous.

Le premier groupe d'indicateurs rend compte de la qualité du processus de mise en œuvre du plan, le deuxième groupe d'indicateurs concerne la participation des parties prenantes au processus, tandis que le troisième groupe vise à évaluer l'efficacité finale du plan, en vérifiant la réduction réelle des risques et des dommages dus aux inondations.



Des valeurs de réduction intermédiaires peuvent également être définies, telles qu'une réduction en pourcentage tout en visant une réduction des dommages et des risques en termes absolus.

Les valeurs cibles doivent être établies par le groupe de travail.

Gestion et mise en œuvre du plan	
Indicateurs	Valeur cible
N° de réunions techniques	n°/année
N° de plans d'adaptation, de lignes directrices et de règlements préexistants et mis à jour	n°/année
Inclusion et communication	
Indicateur	Valeur cible
N° des catégories de parties prenantes représentées dans les partenariats d'adaptation urbaine (PUA) prévus par ADAPT	augmenter
N° des réunions du PUA et dans les écoles	n°/année
N° de communiqués de presse concernant l'adaptation et les résultats d'ADAPT	n°/année
Efficacité du plan	
Indicateur	Valeur cible
N° de personnes vivant dans des zones à risque d'inondation	diminuer
N° de blessures et de décès liés aux inondations	diminuer
Valeur des dommages attribuables aux inondations en €	diminuer

Surveillance des risques et de la vulnérabilité

En reprenant le concept de risque du PGRA (Flood Risk Management Plan), le risque d'inondation est la combinaison de la probabilité qu'une inondation se produise et des conséquences négatives potentielles pour la santé humaine, les terres, les biens,



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



l'environnement, le patrimoine culturel et les activités économiques et sociales résultant d'un tel événement.

Le concept de gestion des risques est défini comme suit dans la discipline PGRA : "La gestion des risques hydrauliques fait référence aux actions visant à atténuer les dommages causés par les inondations. La gestion peut être mise en œuvre par des interventions visant à réduire la dangerosité et des interventions visant à réduire la vulnérabilité des éléments à risque, également par des actions de défense locale et des plans de gestion des travaux liés à la planification municipale et supra-municipale de la protection civile, en respectant les conditions de fonctionnalité hydraulique".

Le risque est exprimé comme le produit du danger et des dommages potentiels lors d'un événement donné :

$$R = P \times E \times V = P \times Dp$$

où :

R (risque) : nombre prévu de victimes, de blessés, de dommages aux biens, aux actifs culturels et environnementaux, de destruction ou d'interruption des activités économiques à la suite d'un phénomène naturel d'une intensité donnée ;

P (dangerosité) : probabilité d'occurrence, dans une certaine zone et sur une certaine période de temps, d'un phénomène naturel d'une intensité donnée ;

E (éléments exposés) : personnes et/ou biens (logements, installations, infrastructures, etc.) et/ou activités (économiques, sociales, etc.) exposés à un événement naturel ;

V (vulnérabilité) : degré de capacité (ou d'incapacité) d'un système/élément à résister à un événement naturel ;

Dp (dommage potentiel) : degré de perte prévisible résultant d'un phénomène naturel d'une intensité donnée, fonction à la fois de la valeur et de la vulnérabilité de l'élément exposé.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



À la fin des mesures d'adaptation, le risque résiduel (Rr) peut être évalué :

$$Rr = P \times E \times (V - CA)$$

où CA est la capacité d'adaptation, c'est-à-dire telle que définie par le MATTM : la capacité d'un système à adapter ses caractéristiques aux conditions climatiques présentes et/ou futures et à réduire le niveau de vulnérabilité, en fonction de contextes spécifiques dynamiques de nature biophysique, social, économique, technologique et politique.

La capacité d'adaptation sera évaluée à l'aide d'indicateurs d'efficacité.

En particulier, en ce qui concerne le **niveau de risque** (Hazard), tous les scénarios prévus par la directive sur les inondations (faible P1, moyen P2, élevé P3) seront surveillés, dont l'indicateur de référence est essentiellement la fréquence des inondations ou son inverse, c'est-à-dire le temps de retour (respectivement 20-50, 100-200, 200-500 ans dans les trois cas). Chaque scénario sera analysé par rapport aux horizons temporels actuels et futurs disponibles dans le profil climatique local.

Acronyme	Indicateur
SU	n° de jours par an avec une température maximale quotidienne supérieure à 25° C
TR/TN	n° de jours par an avec une température minimale quotidienne supérieure à 20°C
FD	n° de jours par an avec une température minimale quotidienne inférieure à 0°C
R10	n° de jours par an avec des précipitations quotidiennes supérieures ou égales à 10mm
R20	n° de jours par an avec des précipitations quotidiennes supérieures ou égales à 20mm
Qmax	Débit annuel maximum au pic de la crue
Tr	Heure de retour de l'inondation
h	Hauteur maximale des précipitations annuelles pour différentes durées (1,3,6,12 e 24 h)



En ce qui concerne la vulnérabilité, cette définition prend des nuances légèrement différentes entre les deux domaines, comme le souligne le PNACC lui-même (MATTM, 2017). Il a donc été choisi, sur la base de la directive sur les inondations, de considérer les vulnérabilités décrites dans la fiche de suivi comme coïncidant avec la catégorie de dommages potentiels, égale au produit entre l'élément d'exposition et l'élément de vulnérabilité. En outre, toujours sur la base de la directive sur les inondations et en l'absence d'autres enquêtes, la vulnérabilité est placée à 1 dans l'équation du risque, se plaçant ainsi dans les conditions les plus critiques ; les dommages potentiels coïncideront donc avec l'élément d'exposition. Enfin, dans la fiche de suivi, les "indicateurs de vulnérabilité" décriront la présence d'éléments potentiellement endommagés par une inondation, tels que le nombre d'habitants, le nombre de biens culturels, de bâtiments résidentiels et/ou stratégiques, la présence d'écosystèmes d'un intérêt considérable, etc.

Type de vulnérabilité	Indicateur
Socio-économique	Nombre d'habitants
	Nombre de bâtiments résidentiels
	Nombre de bâtiments stratégiques
	Nombre d'activités productives
	Nombre de biens culturels
	Nombre de structures réceptives
	Km de routes urbaines/extra-urbaines
Physique et environnement	Nombre de sites d'intérêt environnemental/esthétique/paysage/naturaliste/ soumis à des contraintes
	Extension des sites d'intérêt environnemental/esthétique/paysage/naturaliste/ soumis à contrainte



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



En ce qui concerne **les impacts**, dans le contexte du risque d'inondation, cet élément doit être considéré comme coïncidant avec le risque hydraulique, indiqué dans la directive sur les inondations comme le résultat de l'équation de risque bien connue, égale au produit entre le danger et les dommages potentiels. Les indicateurs de référence pour le risque sont définis par analogie aux indicateurs d'exposition, mais ils sont déclinés dans les zones soumises aux scénarios caractéristiques des dangers hydrauliques (P1, P2, P3). Une subdivision des éléments de risque en domaines de compétence peut également être effectuée. Chaque impact sera analysé en référence à l'horizon temporel actuel (dans ce cas, le "risque d'impact" coïncidera avec la catégorie de risque hydraulique R1, R2 ou R3 conformément à la directive européenne sur les inondations) et futur conformément au profil climatique local.

Impacts	
Secteur	Indicateur
Constructions	Nombre de bâtiments résidentiels/stratégiques/autres dans les zones P1/P2/P3
Transports	Extension des lignes routières dans les zones P1/P2/P3
Energie	Extension des lignes électriques dans les régions P1/P2/P3
Eau	Extension des conduites d'eau dans les zones P1/P2/P3
Déchets	Nombre/extension des sites de stockage dans les zones P1/P2/P3
Production et commerce	Nombre d'activités productives dans les zones P1/P2/P3
Agriculture et sylviculture	Extension des zones agricoles/forestières dans les zones P1/P2/P3
Environnement et biodiversité	Nombre/extension des sites soumis à la contrainte dans les zones P1/P2/P3
Santé	Nombre d'hôpitaux et de centres de convalescence dans les régions P1/P2/P3
Protection civile et situations d'urgence	Nombre de résidents dans les zones P1/P2/P3
Tourisme	Nombre/extension des sites soumis à des contraintes/installations d'hébergement dans les zones P1/P2/P3



Suivi des actions d'adaptation

Le suivi des mesures d'adaptation doit être effectué pour chaque action individuelle.

Les indicateurs identifiés pour chaque action seront de deux types :

- Indicateurs de progrès pour évaluer l'avancement de la mise en œuvre de chaque action individuelle
- Indicateurs d'efficacité qui prennent en compte les résultats des actions d'adaptation par rapport aux politiques, la réduction des effets du changement climatique, l'augmentation de la capacité d'adaptation et la réduction des risques qui en résulte.

	ADAPTATIONS	INDICATEURS DE PROGRÈS	INDICATEURS DE PERFORMANCE
1	Ouvrages hydrauliques visant à égaliser les eaux de pluie et à se défendre contre les inondations urbaines. Mise en œuvre de systèmes de drainage urbain durable (SDUS). Récupération de l'eau de pluie. Bassins d'infiltration, bassins de rétention, jardin pluvial	• Nombre d'œuvres réalisées • augmentation nette du volume des réservoirs/bassins • zone touchée par l'ajustement structurel • km de routes affectées par les nouveaux systèmes de drainage	• réduction des accidents provoqués par des conditions météorologiques extrêmes • réduction des dommages économiques insistants causés aux choses et aux personnes • réduction des impacts des phénomènes météorologiques préjudiciables
2	Amélioration structurelle des systèmes de drainage en les adaptant aux besoins actuels grâce à une capacité d'évacuation accrue.	• Nombre d'œuvres réalisées • zone touchée par l'ajustement structurel • km de routes	• réduction des accidents provoqués par des conditions météorologiques extrêmes



		affectées par les nouveaux systèmes de drainage	- réduction des dommages économiques insistants causés aux choses et aux personnes - réduction des impacts des phénomènes météorologiques préjudiciables
3	Restauration de la perméabilité des sols grâce à l'utilisation de matériaux de drainage pour la construction de sols, plates-bandes drainantes, jardins pluviaux, etc.	- l'augmentation de la surface urbaine perméable - km de routes affectées par les nouveaux systèmes de drainage - Nombre d'interventions effectuées	- la réduction des accidents provoqués par des conditions météorologiques extrêmes - la réduction des dommages économiques insistants causés aux choses et aux personnes - la réduction des impacts des phénomènes météorologiques préjudiciables
4	Construction de toits et de parois vertes	- nombre de pratiques relatives à la demande de mesures incitatives pour les toits et les parois vertes - zone réaménagée à espace vert	augmentation absolue et relative des espaces du vert public
5	Augmentation des espaces verts grâce à un	nombre de plantes plantées	augmentation absolue et relative



	plan de plantation de plantes	des surfaces réaménagées en espaces verts	des espaces verts publics réduction des îlots de chaleur
6	Positionnement des ouvrages hydrauliques dans les zones inondables	- nombre de pompes d'épuisement positionnées - zone concernée par l'ajustement structurel	- réduction des accidents provoqués par des conditions météorologiques extrêmes - réduction des dommages économiques insistants causés aux choses et aux personnes - réduction des impacts des phénomènes météorologiques préjudiciables
7	Entretien des systèmes de drainage par la définition d'une échelle de priorités et la programmation des interventions	- nombre d'opérations de maintenance effectuées - surface affectée par l'entretien programmé	- réduction des dommages économiques insistants causés aux choses et aux personnes - réduction des impacts des phénomènes météorologiques préjudiciables
8	Mise à jour de l'image cognitive du système de drainage du territoire urbanisé avec un recensement et une cartographie, à l'aide	- nombre d'œuvres recensées - surface urbaine cartographiée et insérée dans le système SIG	améliorer la base de connaissances, de données et d'informations disponibles



	d'un système SIG, de tous les ouvrages hydrauliques		
9	Intégration des réseaux de surveillance pluviaux-hydrométrique	• nombre de systèmes de suivi mis en œuvre • investissements dans le développement • rapport entre la surface urbaine et les stations de pluie	• élargissement de la portée géographique des réseaux d'observation • accroître la disponibilité des informations et des données
10	Développement de systèmes de surveillance à l'échelle micro territoriale à l'aide de nouvelles technologies, en reliant les drains et les plaques d'égout à des capteurs qui communiquent les inondations	• nombre de dispositifs installés • nombre de questions critiques surveillées	• élargissement de la portée géographique des réseaux d'observation • accroître la disponibilité des informations et des données pour le public
11	Rédaction de l'atlas urbain des éléments tombant dans les zones hydrauliquement dangereuses (collecte des informations du PGRA en un seul document utilisable)	• nombre de problèmes critiques identifiés • nombre de plans/documents envisageant l'adaptation au changement climatique	• augmentation du nombre d'outils cognitifs • amélioration des outils de cartographie des risques pour la planification
12	Recensement des épisodes historiques de perturbations / inondations / événements météorologiques extrêmes	• nombre d'événements historiques identifiés • nombre d'études de vulnérabilité et	• augmentation du nombre d'outils cognitifs • amélioration des outils de cartographie des



		d'évaluation des risques	risques pour la planification
13	Développement d'un <i>système d'alerte précoce</i> avec des informations plus détaillées	- nombre de messages d'alerte envoyés - nombre d'utilisateurs atteints	- accroître l'impact de la plate-forme en tant que source d'information - réduction des impacts négatifs sur la population
14	Révision du plan municipal de protection civile	- nombre d'études de vulnérabilité et d'évaluation des risques - Nombre de problèmes critiques identifiés	amélioration des outils de cartographie des risques pour la planification
15	Exercices pour la mise en œuvre du plan de protection civile	- Nombre d'exercices effectués par an - nombre de participants	- réduction des impacts négatifs sur la population - augmentation du nombre de personnes formées
16	Sensibilisation, par le biais des médias, aux risques et aux comportements appropriés en cas d'événement	- nombre d'événements de communication par an - matériel développé pour la diffusion	élargir le réseau des acteurs impliqués dans l'adaptation
17	Diffusion et communication des plans d'urgence de la protection civile	- nombre d'événements organisés par an - matériel développé pour la diffusion	- augmentation du nombre de personnes formées - une participation accrue du public
18	Adoption et intégration de nouvelles technologies par le biais de supports	nombre de systèmes d'alerte mis en œuvre	accroître l'impact de la plate-forme en tant que source



	tecnologiche appropriés pour donner l'alerte et communiquer les comportements appropriés	nombre d'utilisateurs enregistrés	d'information participation accrue du public
19	Interventions de formation destinées aux administrateurs et aux fonctionnaires des organismes publics et du monde des affaires	- nombre d'événements organisés par an - nombre de participants à chaque événement	- augmentation du nombre de personnes formées - renforcer le réseau d'acteurs et d'organisations impliqués dans l'adaptation
20	Activation d'outils pour la diffusion des connaissances sur les risques d'inondation avec du matériel explicatif, vadémécum, brochure sur le changement climatique / site web dédié / ateliers sur des sujets spécifiques	- nombre d'initiatives organisées par an - nombre de brochures et de vade-mecum réalisés - nombre de participants aux événements - nombre d'accès au site web dédié	- participation accrue du public - augmentation du nombre d'instruments partagés - augmenter le nombre de personnes impliquées dans les campagnes de sensibilisation
21	Activités de formation dans les écoles pour faire face aux inondations	- nombre d'établissements d'enseignement concernés - nombre d'étudiants impliqués - nombre d'événements adressés aux écoles	- augmentation du nombre de personnes formées - augmentation du nombre de personnes impliquées dans les campagnes de sensibilisation
22	Activation d'actions d'éducation à	nombre d'événements	participation accrue du public



	l'environnement pour les citoyens qui encouragent la diffusion de bonnes pratiques d'adaptation aux risques	- organisés par an - nombre de participants - nombre de brochures et de vade-mecum réalisés	- augmentation du nombre d'instruments partagés - augmentation du nombre de personnes impliquées dans les campagnes de sensibilisation
23	La citoyenneté : un rôle actif et responsable par la diffusion de bonnes pratiques telles que l'entretien des espaces privés et des espaces verts privés, pour contribuer à diminuer le danger et à rendre le territoire plus résistant.	- nombre d'événements organisés par an - nombre de brochures et de vade-mecum réalisés - nombre de familles impliquées dans la sensibilisation	- participation accrue du public - augmentation du nombre de personnes impliquées dans les campagnes de sensibilisation
24	Projet "sentinelles urbaines" développant un système de signalisation de criticité avec une référence particulière aux problèmes hydrauliques	- nombre de signalements reçus - nombre d'opérations effectuées	- participation accrue du public - diminution des épisodes d'inondations urbaines
25	Campagne #adottaunacaditoia: impliquer activement les citoyens dans le soin et le maintien du bien commun	- nombre de collecteurs d'évacuations adoptées - nombre de citoyens concernés	- participation accrue du public - diminution des épisodes d'inondations urbaines
26	Adoption du plan vert municipal pour une bonne gestion du patrimoine paysager local par une planification de la	- nombre de plans envisageant l'adaptation au changement climatique - surface	- augmentation du nombre de personnes impliquées dans les campagnes de sensibilisation - augmentation



	gestion des terres	aménagée en espaces verts urbains	des zones perméables
27	Établissement de la "Charte des bâtiments" avec une évaluation des bâtiments au regard du risque hydraulique	- nombre de bâtiments étudiés dans une zone menacée d'un point de vue hydraulique/géomorphologique - nombre de plans/documents envisageant l'adaptation au changement climatique	- amélioration des outils de cartographie des risques pour la planification - amélioration de la base de connaissances
28	Mise en place d'incitations pour la réduction du débit entrant dans le système de drainage afin de stimuler les actions d'adaptation volontaires	- nombre de pratiques liées à la demande de mesures incitatives - nombre d'interventions d'amélioration du drainage effectuées	- réduction des dommages économiques insistants causés aux choses et aux personnes - réduction des impacts des phénomènes météorologiques préjudiciables - participation accrue du public
29	Accord avec le Consortium d'assainissement pour l'entretien de la petite grille hydrographique	- nombre de programmes prévoyant l'adaptation au changement climatique - nombre d'interventions de maintenance fonctionnalité des	- réduction des dommages économiques insistants causés aux choses et aux personnes - réduction des impacts des phénomènes météorologiques



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

		rivières	préjudiciables
30	Mise en place d'une table de coordination entre les secteurs municipaux	- Mise en place d'une table de coordination entre les secteurs municipaux - nombre de participants des secteurs municipaux	accroître le nombre d'administrateurs publics impliqués dans les mesures d'adaptation au changement climatique
31	Lignes directrices pour l'analyse des projets de transformation urbaine, par exemple les pourcentages minimums de surfaces perméables, etc.	nombre de plans/documents sectoriels envisageant l'adaptation au changement climatique	- augmentation du nombre de bâtiments protégés contre les inondations - réduction des impacts des phénomènes météorologiques préjudiciables - augmentation des zones perméables
32	Réglementation de l'administration partagée des biens communs par l'extension des espaces verts disponibles	- nombre de biens communs couverts par le règlement - nombre de citoyens concernés	- participation accrue du public - augmentation des zones perméables



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



7.2.2 Le système de rapport

Pour compléter le système de suivi, d'évaluation et de rapport (MRV), il est nécessaire d'organiser la phase de reporting. Le gestionnaire du plan local doit établir un rapport annuel, en tenant compte également des rapports intermédiaires éventuels, afin que les mesures d'amélioration appropriées puissent être mises en œuvre en temps voulu.

Le système de suivi permet de suivre l'avancement du plan d'adaptation local et l'efficacité des actions prévues. Tout comme le plan d'adaptation local est un outil flexible, le système de suivi, ainsi que les indicateurs et les objectifs choisis, feront l'objet d'une adaptation et d'une amélioration continue, afin de calibrer les informations requises en fonction de l'avancement du développement des différentes actions d'adaptation. Toute modification doit en tout état de cause être conforme aux objectifs et principes énoncés ci-dessus, de manière à être comparable au fil du temps.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



8 Conclusions

Afin d'aborder les questions critiques dues aux risques liés au changement climatique en cours, en particulier en ce qui concerne les risques d'inondation, la municipalité de Livourne a adhéré au projet ADAPT avec la résolution du conseil municipal n° 14 du 17/01/2017.

Une des critiques majeures du territoire municipal concerne le risque hydraulique, bien qu'il ne soit pas traversé par le réseau hydraulique principal. Les risques liés au réseau principal ne concernent que marginalement notre territoire, par rapport au fleuve Arno et à l'ouverture du Canale dello Scolmatore en cas d'inondation, mettant en péril la bande nord du territoire communal avec celle qui borde la province de Pise. Le réseau hydraulique secondaire, en revanche, est constitué de divers cours d'eau torrentiels, composés de bassins hydrographiques assez hétérogènes et de nombreux affluents mineurs. Un autre élément, qui complique la dynamique hydraulique de ces ruisseaux, est la canalisation des derniers tronçons de certains d'entre eux.

Lorsqu'on parle d'inondations urbaines, en plus des problèmes causés par les nombreux cours d'eau présents, on inclut également les inondations dues à la capacité réduite d'évacuation des eaux de pluie. Le ruissellement de surface interagit avec le flux de retour du réseau d'égouts qui, en cas de phénomène intense, est surchargé, rejoignant l'inefficacité de la capacité d'évacuation des égouts actuels.

L'imperméabilisation intense du territoire, due à l'expansion du centre urbain et à l'augmentation des activités de production, a rendu l'ensemble du système de drainage insuffisant, puisqu'il a été calibré au moment de sa construction, sur un territoire plus naturel, moins urbanisé et donc beaucoup plus perméable.

L'écoulement des eaux de pluie est souvent limité par la concomitance fréquente de vents provenant des quadrants sud-ouest (libeccio) souvent de forte intensité. Dans ces cas, associés au risque hydraulique, il y a aussi souvent le risque d'ondes de tempête,



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



sur une bande côtière d'environ 14 km, densément urbanisée.

Une autre criticité présente sur notre territoire, en lien étroit avec les pluies intenses dues aux effets du changement climatique, est le risque géomorphologique qui génère des glissements de terrain pouvant être activés aussi bien pendant qu'à la fin de l'événement pluvieux.

La simultanéité des événements météorologiques défavorables est un facteur essentiel pour faire face aux phénomènes liés aux risques décrits ci-dessus.

La ville de Livourne a subi l'inondation de 2017, suite à un phénomène météorologique exceptionnel, avec un temps de retour estimé entre 500 et 1 000 ans. La population et le territoire ont subi de graves conséquences. Les autorités compétentes ont pris des mesures pour mettre en œuvre un certain nombre de mesures de sécurité hydraulique coûteuses, énumérées au paragraphe 3.7.2.

Il est important de souligner que la sécurité d'un territoire prévoit un aménagement du territoire planifié dans le temps de manière adéquate, capable également d'évoluer avec les conditions changeantes liées à l'expansion des centres urbains et au changement climatique rapide.

Agir sur un territoire qui a été considérablement compromis du point de vue de l'urbanisation est un défi complexe et coûteux.

En outre, les rapports de la communauté scientifique sur l'évolution des effets du changement climatique s'accordent à dire que le temps disponible pour l'adaptation est vraiment court.

Une bonne planification doit comprendre des interventions structurelles et non structurelles.

La municipalité de Livourne est dans la phase de révision du plan de protection civile et dans la phase de préparation du plan opérationnel suite à la récente approbation du plan structurel (Del. Consiglio Comunale n°75 du 07/04/2019).

Ces plans devraient donc être intégrés au présent plan local d'adaptation aux risques



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



d'inondation pour devenir un outil "souple" de planification adéquate.

Une attention particulière doit également être accordée à la population. La connaissance nécessaire et appropriée du risque et des comportements à mettre en œuvre dans les différentes situations est fondamentale, la ville et sa population sont un ensemble qui doit travailler en synergie pour atteindre une plus grande sécurité. C'est pourquoi l'administration devra s'adresser à chaque citoyen, en l'informant et en l'éduquant, par une activité de sensibilisation adressée aux différentes catégories.

Seule la collaboration entre l'administration et les citoyens permettra une meilleure prise de conscience et de limiter au maximum les effets néfastes du changement climatique en cours.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Bibliographie

IPCC - Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate 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, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324, 2013

ISPRA. Gli indicatori del clima in Italia nel 2016. Anno XII. ISBN 978-88-448-0838-9, 2016

ISPRA. Stato dell'Ambiente 80/2018 ISBN 978-88-448-0904-1, 2017

Piano strutturale 2 del Comune di Livorno – Relazione geologico-tecnica, Studio di geologia applicata Dr.Geol. Luca Mazzei, 2018

Studio idrologico e idraulico e progetto preliminare degli interventi di riduzione del rischio idraulico sul bacino del Rio Maggiore nel Comune di Livorno – Relazione idrologica idraulica – Commissario Delegato Regione Toscana – Progettazione HydroGeo Ingegneria s.r.l. - agosto 2018

Piano strutturale 2 del Comune di Livorno – Quadro conoscitivo idraulico-Relazione illustrativa, Prima Ingegneria STP, Ing. P.Chiavaccini, Ing. M.Verzoni, Ing. N.Buchignani, Ing. Iunior N. Verzoni, 2018

Padova Resiliente – Linee guida per la costruzione del piano di adattamento al cambiamento climatico, Università IUAV di Venezia, 2016



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Ricostruzione idrogeologica dell'evento del 9/10 settembre 2017 nella Provincia di Livorno (bacini da Ugione a Chioma compresi), Prof. Ing. Fabio Castelli, 2018

Profilo climatico locale-Analisi delle vulnerabilità all'impatto dei cambiamenti climatici – BLUAP Bologna città resiliente, 2015

The ocean and the cryosphere in a changing climate – IPCC – 2019

Gestione sostenibile delle acque urbane. Manuale di drenaggio urbano: perchè, cosa, come. Gibelli G., Gelmini A., Pagnoni E., Natalucci F. - 2015 – Regione Lombardia – ERSIAF – Milano, 2015

Migliori pratiche per la gestione sostenibile delle acque in aree urbane – linee guida per un regolamento del verde – Agende locali 21-area Fiorentina, 2017

Guide to climate change adaptation in cities – The International Bank for reconstruction and development, 2011

Linee guida educazione ambientale – MATTM, 2014

Parigi e oltre – Gli impegni nazionali sul cambiamento climatico al 2030 – MATTM – ENEA – ISPRA – CNR, 2016

Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio – ISPRA, 2018

Relazione della commissione al Parlamento Europeo e al Consiglio sull'attuazione della



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici – Commissione Europea, 2018

PNACC - Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici. Supporto tecnico-scientifico per il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) ai fini dell'Elaborazione del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC). Semenov, M.A. & Barrow, E.M. (2002), "LARS-WG A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies", User Manual, Version, 3.0: 28. Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M. & Richardson, C. W. (1998), "Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in drivers climates", Climate Research, 2017

SIR: Settore Idrologico Regionale. Report pluviometria città di Livorno, 2017

Impermeabilizzazione e consumo dei suoli nelle aree urbane - R. Barberis, A. Di Fabbio, M. Di Leginio, F. Giordano, L. Guerrieri, I. Leoni, M. Munafò, S. Viti, 2005

ADAPT - Linee guida per lo sviluppo di profili climatici locali – CMCC, 2018

ADAPT - Linee guida per la redazione di piani di adattamento al rischio alluvioni – CMCC, 2018

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, 2014

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



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



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

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

SNACC – Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici. Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare, 2014

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

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

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

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

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



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Viglione, A., Blöschl, G. - 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, 2009

Castellari S., Venturini S., Giordano F., Ballarin Denti A., Bigano A., Bindi M., Bosello F., Carrera L., Chiriaco M.V., Danovaro R., Desiato F., Filpa A., Fusani S., Gatto M., Gaudioso D., Giovanardi O., Giupponi C., Gualdi S., Guzzetti F., Lapi M., Luise A., Marino G., Mysiak J., Montanari A., Pasella D., Pierantonelli L., Ricchiuti A., Rudari R., Sabbioni C., Sciortino M., Sinisi L., Valentini R., Viaroli P., Vurro M., Zavatarelli M. - Elementi per una Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma, 2014

Flörke, M., Wimmer, F., Laaser, C., Vidaurre, R., Tröltzsch, J., Dworak, T., Stein, U., Marinova, N., Jaspers, F., Ludwig, F., Swart, R., Giupponi, C., Bosello, F., and Mysiak, J. - Final Report for the project Climate Adaptation – modelling water scenarios and sectoral impacts (ClimWatAdapt), Center for Environmental Systems Research (CESR), Kassel, Germany, 2011

IPCC - Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate 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, 1535 pp, 2013

IPCC - Allen, M.R., O.P. Dube, W. Solecki, F. Aragón-Durand, W. Cramer, S. Humphreys, M. Kainuma, J. Kala, N. Mahowald, Y. Mulugetta, R. Perez, M. Wairiu, and K. Zickfeld, 2018: Framing and Context. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the*



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press. - MATTM, 2013. Ministro dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare, 2018

MATTM. Primo rapporto sullo Stato del Capitale Naturale. Ministro dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare, 2017

Polade, S. D., Pierce, D. W., Cayan, D. R., Gershunov, A. & Dettinger, M. D. The key role of dry days in changing regional climate and precipitation regimes. Sci. Rep. 4, 4364, 2014

Polade, S. D., Gershunov, A., Cayan, D. R., Dettinger, M.D., & Pierce, D. W. 2017. Precipitation in a warming world: Assessing projected hydro-climate changes in California and other Mediterranean climate regions. Sci. Rep. 7, 10783, 2017