



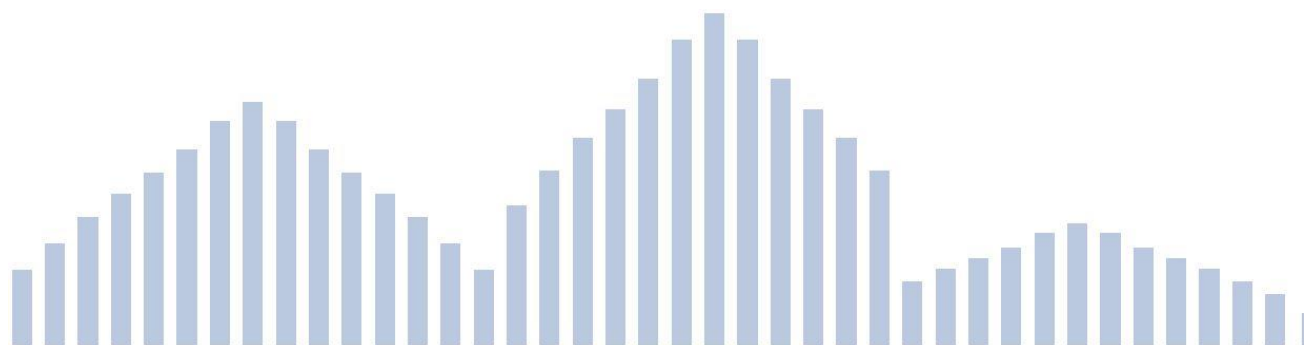
Interreg



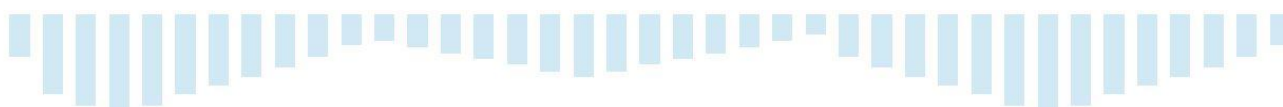
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ASSISTERE L'ADATTAMENTO AI
CAMBIAMENTI CLIMATICI DEI SISTEMI
URBANI DELLO SPAZIO
TRANSFRONTALIERO - "ADAPT"
Rapport final des activités dans le cadre
de l'accord ANCI-DAGRI



Langue: FRANÇAISE



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

INTRODUCTION

Ce rapport illustre les principales activités menées par le Département DAGRI (anciennement GESAAF) de l'Université de Florence dans le cadre du projet Adapt. En collaboration avec Anci Toscana, nous avons choisi de concentrer l'objet d'étude de l'accord dans la région de Carrare. Le choix de cette zone, avec des caractéristiques extrêmement particulières en raison de la présence de la plus grande zone d'extraction de la région, a conduit à une plus grande attention à la zone de marbre, car c'était le plus grand intérêt pour l'administration municipale. En particulier, le besoin est apparu de trouver plus d'informations concernant la stabilité des ravaneti, la compréhension de la dynamique de succession végétative et la fonction hydrogéologique que les populations végétales peuvent jouer pour protéger les centres habités situés en aval. Une recherche a été menée en vue de systématiser la documentation déjà disponible concernant l'hydrologie du bassin du ruisseau Carrione, et les informations disponibles ont été intégrées aux activités de terrain dédiées notamment à la caractérisation des populations végétales et au renforcement radical associé.

Les analyses hydrauliques ont plutôt été menées sur l'une des principaux cours d'eau de la plaine de Carrare, la Fossa Maestra.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

1. 1 Le rôle hydrologique des «ravaneti»

Suite à une intense collaboration avec le Département des Sciences de la Terre de l'Université de Pise, en particulier avec le groupe de recherche coordonné par le prof. Baroni, les cartes thématiques visant à identifier les ravaneti à protéger ont été élaborées (voir "Carte des paramètres de sélection des ravaneti à protéger"), préparant la section sur le couvert végétal. En particulier, nous avons procédé à une catégorisation de la végétation basée sur l'habitude (herbacée, arbustive, arboricole) et sur la prévalence des espèces indigènes ou allochtone, pour identifier les ravaneti les plus intéressants d'un point de vue floristique, privilégiant les dépôts colonisés par la végétation arboré, dans laquelle l'effet stabilisant des systèmes racinaires est censé être plus important.

L'activité conjointe entre l'Université de Florence et Pise a produit une étude approfondie sur les ravaneti du bassin de marbre de Carrare, intitulée "Recherche géomorphologique appliquée aux ravaneti de la municipalité de Carrara, pour la mise à jour des données relatives à l'extension et la caractérisation des ravaneti des bassins en marbre et l'identification des ravaneti des bassins en marbre à soumettre à la protection et à la mise en valeur (plans de mise en œuvre des bassins d'extraction)". La participation de DAGRI concernait notamment le volet concernant la réalisation du tableau 2 "Carte des paramètres de sélection des ravaneti à protéger" et du tableau 3 "Carte des ravaneti à protéger". Cette analyse a permis d'identifier les ravaneti les plus fonctionnels dans l'atténuation du risque hydrogéologique pour les logements de la vallée, tous tombant dans la municipalité de Carrara. L'approche utilisée a privilégié la conservation des ravaneti) avec une plus grande capacité d'absorption des eaux pluviales, visant à une réduction des coefficients d'écoulement des bassins en marbre, et ii) avec une probabilité de rupture plus faible, garantie par les caractéristiques granulométriques et par les caractéristiques des couverture végétale, afin de protéger les dépôts moins sujets aux phénomènes d'érosion et à l'instabilité gravitationnelle. Le chapitre extrait du document final est présenté ci-dessous.

1.1 Systématisation des études hydrologiques disponibles

Merci à la collaboration et à la disponibilité de dr. Fabio Gardin et prof. ing. Fabio Castelli, après avoir entendu l'ingénieur. Gennarino Costabile de la région Toscane, a procédé à l'analyse des documents suivants, en évitant de recalculer les débits de projet, en se concentrant plutôt sur les caractéristiques des ravaneti utiles pour leur protection pour des raisons hydrologiques.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

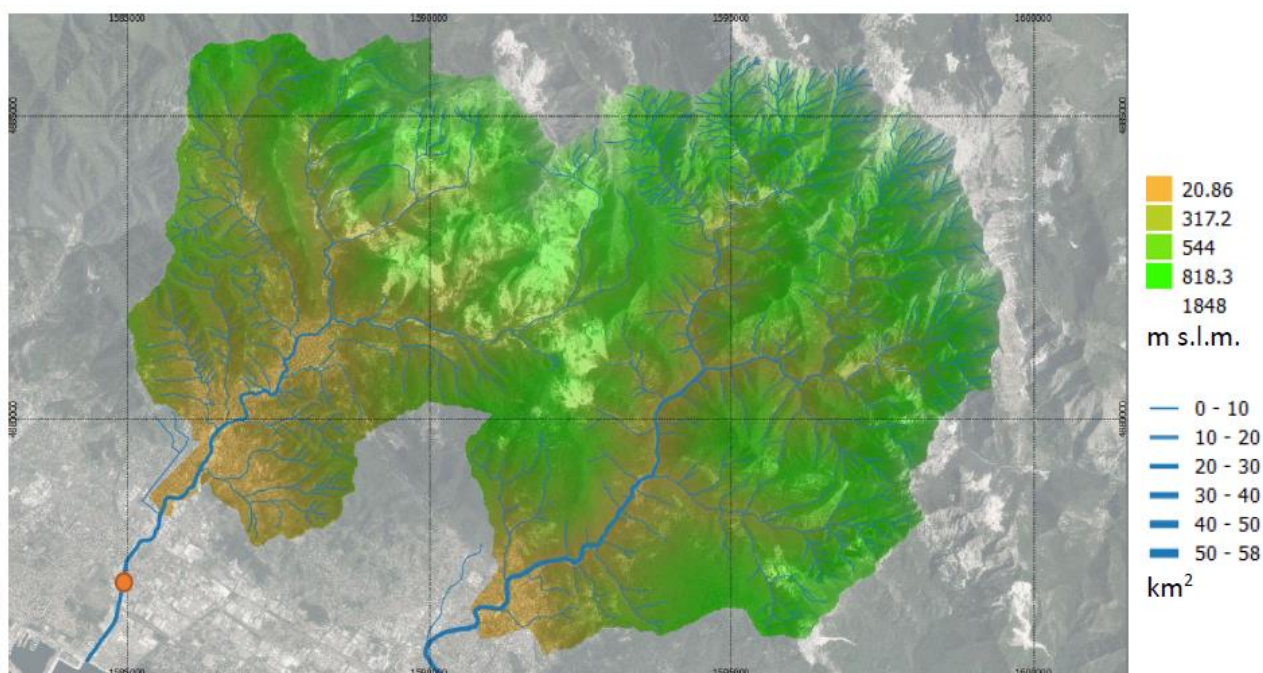


Figure 1 Dimensions du terrain et réseau hydrographique avec indication des zones contributives (le symbole circulaire représente la position de l'hydromètre Avenza)

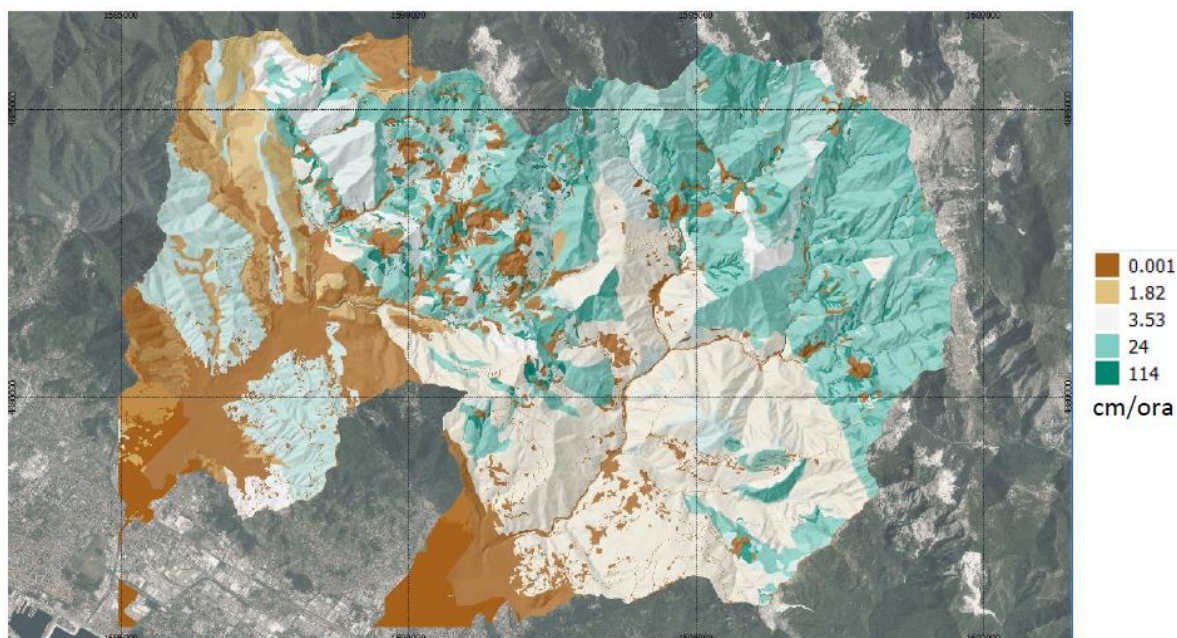


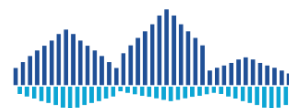
Figure 2 Conductiv  hydraulique   saturation de la couche superficielle du sol



Interreg



UNIONE EUROPEA



ADAPT

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

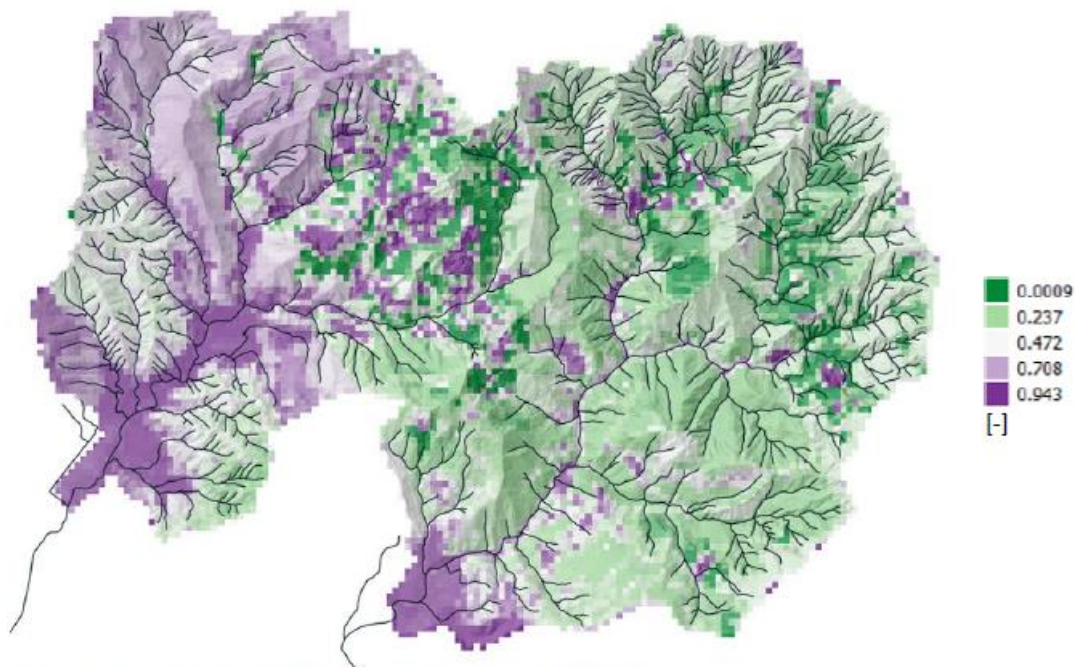


Figure 3 Coefficient de ruissellement de surface (rapport des valeurs cumulées)



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

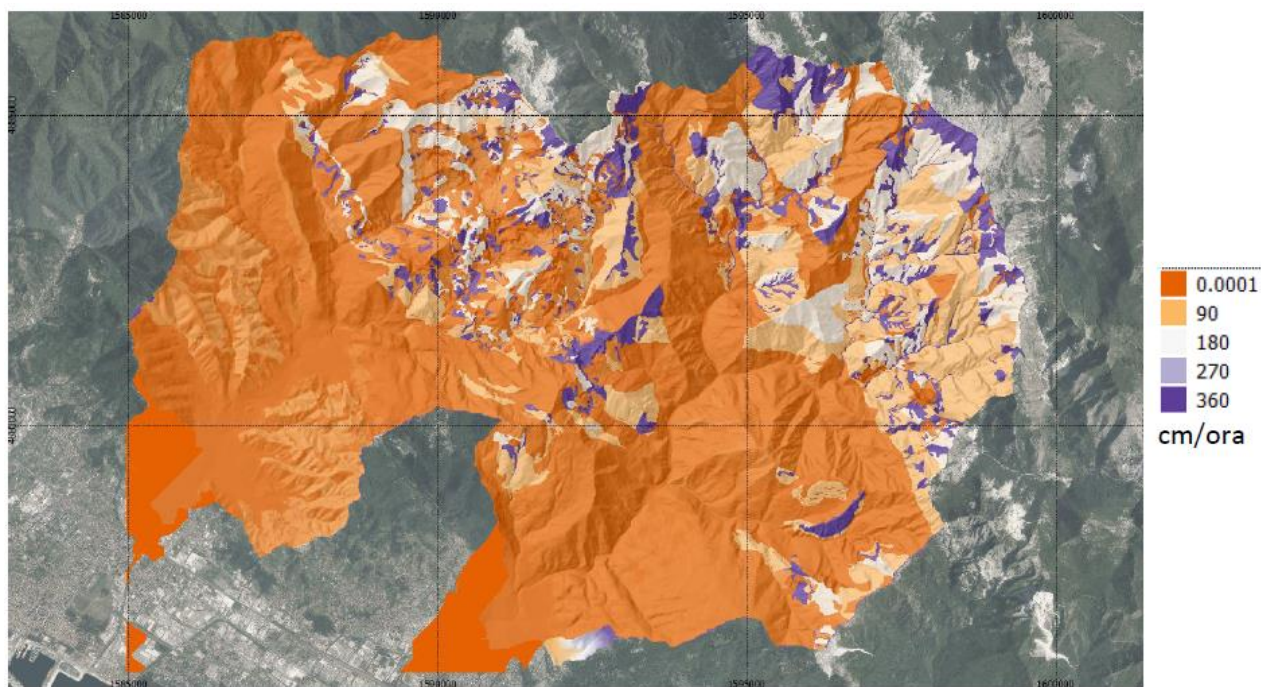


Figure 4 Perméabilité du substrat rocheux

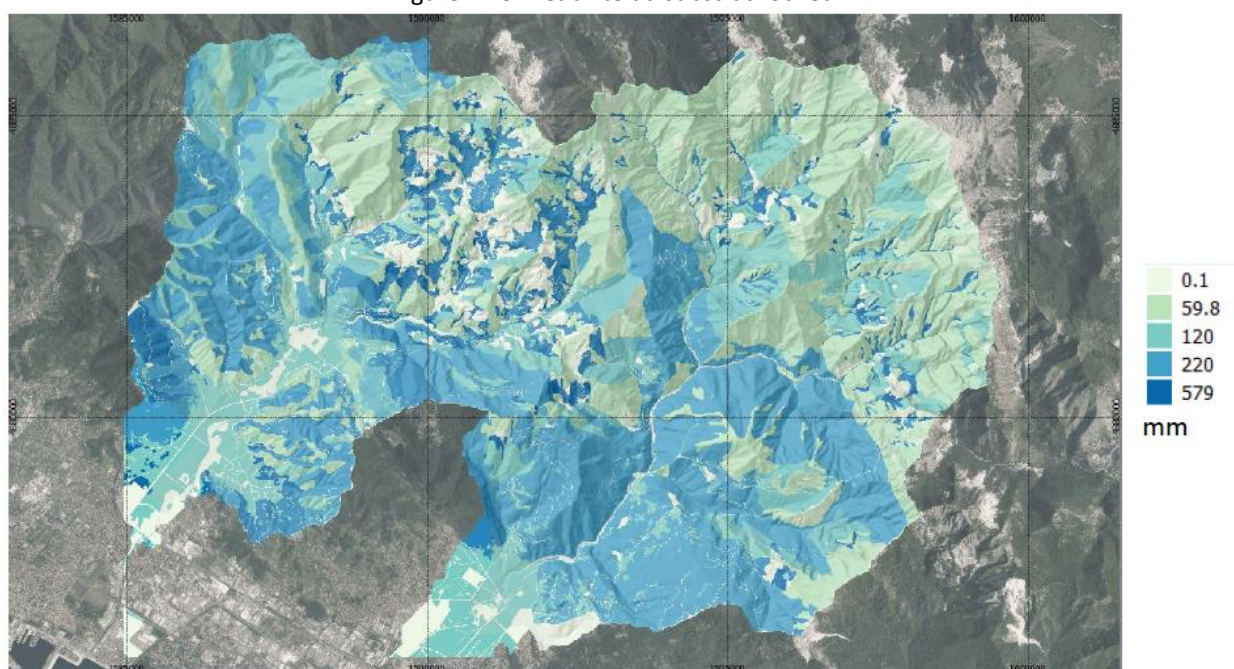


Figure 5 Teneur maximale en eau capillaire



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

ADAPT

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

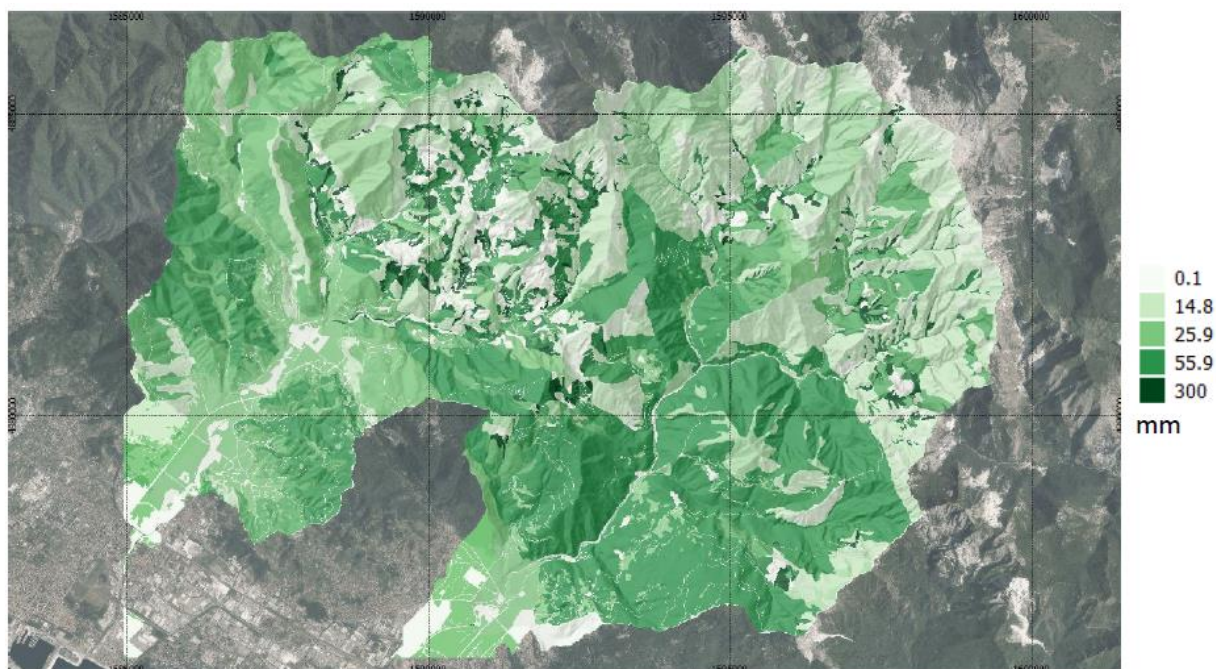


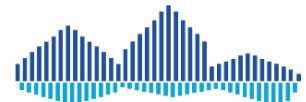
Figure 6 Teneur en eau gravitationnelle maximale



Interreg



UNIONE EUROPEA



ADAPT

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

2. La végétation présente sur les ravaneti

2.1 L'étude de la végétation présente sur les ravaneti

Les ravaneti représentent un environnement extrême pour la colonisation des plantes et des populations végétales. Les radaneti sont très différenciés selon leur granulométrie, leur texture et leur perméabilité, et représentent donc des habitats différents (Baroni et al, 2003). La variabilité considérable observée dans les sédiments composant les gisements est principalement liée aux différents types de techniques de traitement et d'extraction du marbre qui se sont succédé dans l'histoire. Les anciens ravaneti d'affleurements, dont la production remonte principalement à la période comprise entre la fin du XIXe et le début du XXe siècle, présentent des différences évidentes par rapport aux plus récentes, liées aux techniques actuelles d'extraction du marbre (Ansaldi et Gentili, 2004).

D'un point de vue climatique, la zone est caractérisée par un climat humide de type B1-B2, avec un mois aride et l'absence de mois froids (Rapetti et Vittorini, 1994).

D'un point de vue végétatif, Ferrarini (1972) place la zone du bassin de marbre dans la gamme de la chênaie xéromorphe; en particulier, de petits bords sont encadrés dans le chêne-carpineto, les plus grandes parties des formations à *Ostrya sparsa* (Ansaldi et Gentili, 2004).

La végétation potentielle de la zone étudiée se situe dans la zone de la ceinture de chêne-chêne de *Quercus pubescens* Willd. (chêne pubescent) et *Ostrya carpinifolia* Scop. (charme noir) (situé au-dessus du maquis méditerranéen) avec une dominance d'*Ostrya carpinifolia* qui sur les pentes ensoleillées culmine à plus de 1000 m (Ferrarini et Alessandrini, 1988).

Classification de la végétation pour l'élaboration de la carte

Le couvert végétal des ravaneti semble être fortement influencé par le type de substrat et le degré de perturbation qu'il a subi au fil du temps, et est donc assez hétérogène tant en ce qui concerne la composition spécifique que le degré de couverture.

Peu d'études ont été réalisées dans le bassin de marbre pour la caractérisation du couvert végétal sur les ravaneti. Parmi celles-ci, un intérêt particulier est l'étude réalisée par Gentili (2008), qui fournit une analyse détaillée du couvert végétal en relation avec les caractéristiques géomorphologiques des différents ravaneti, une cartographie complète de la végétation dans le bassin d'extraction, ainsi qu'une analyse plus détaillée. conduite détaillée sur 74 sites de secours ponctuels. Une autre étude d'intérêt pour la présente analyse, d'une époque plus récente, a été élaborée par le groupe de travail coordonné par d.ssa biol. Grazzini (2017). Cette étude a identifié et numérisé différents types de couvert végétal, indiquant les espèces présentes pour chacun d'entre eux et indiquant la présence possible d'habitats d'intérêt conformément à L.R. 56/00 et la directive 92/43 / CEE dans chaque polygone.

Au cours de l'été 2018, elle a été menée par le dr. Errico une autre remarque sur les 74 mêmes points précédemment examinés par le dr. Gentili, dont les résultats seront utilisés pour une analyse comparative après 10 ans visant à comprendre les tendances évolutives du couvert végétal, toujours en cours aujourd'hui.

Au cours de la même année, le Dr Alderighi a effectué une numérisation détaillée des zones végétalisées présentes sur les ravaneti à partir des orthophotes prises en 2017, obtenant ainsi une série de polygones tombant sur les radaneti. Le shapefile obtenu a été combiné avec celui produit par le groupe coordonné par d.ssa Grazzini, afin d'attribuer à chaque polygone le type de couverture qui leur était précédemment attribué.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

La végétation peut jouer un rôle important dans la lutte contre les phénomènes d'instabilité et donc la production de sédiments dans un bassin fluvial. Les principaux effets peuvent être résumés dans:

- Réduction de la fraction des précipitations qui génère le ruissellement: grâce à l'interception des précipitations du feuillage, une partie des précipitations n'atteint pas le sol mais est retenue à la surface des feuilles; un sol végétalisé a également une plus grande capacité d'infiltration grâce aux voies préférentielles ouvertes par les systèmes racinaires;
- Réduction de l'effet battant de la pluie: en particulier sur les substrats à granulométrie fine, l'effet battant de la pluie favorise la dégradation des agrégats du sol et rend donc les particules plus facilement érodées;
- Réduction de l'érosion de surface: la présence de végétation augmente la rugosité de la surface sur laquelle se déplace l'eau de ruissellement; il y a donc une vitesse de ruissellement plus faible et une capacité de transport solide qui en résulte plus faible;
- Réduction de l'humidité du sol: grâce à l'évapotranspiration, la végétation contribue à évacuer l'eau du sol, réduisant le risque d'accumulation dans les périodes pluvieuses caractérisées par des précipitations rapprochées;
- Augmentation de la cohésion du sol: grâce à la résistance élevée au cisaillement et au non-filetage des systèmes racinaires, la végétation augmente la cohésion, contrecarrant ainsi le déclenchement des mouvements de masse. Cet effet est plus important lorsque les racines traversent toute l'épaisseur du sol ancrant à des substrats stables.

Dans le contexte des ravaneti, la conduite en cas de pluie est extrêmement variable, influencé entre autres choses par la granulométrie et la stratigraphie des gisements. Les ravaneti les plus anciens, caractérisés par une granulométrie grossière, ont une stabilité et une capacité de drainage de l'eau intrinsèques, pas du tout influencées par le degré de couvert donné par la végétation.

Contrairement, dans les ravaneti les plus récents, composés de sédiments de taille variable, souvent avec une prévalence de matières fines, la réponse hydrologique peut varier considérablement en fonction de la présence ou de l'absence de plantes, avec des avantages d'autant plus grands que la végétation est développée.

Par conséquent, pour l'élaboration de la "Carte des paramètres de sélection des ravaneti à protéger", un simple critère de classification a été choisi en relation au niveau de développement du couvert végétal, en supposant que cette information soit étroitement liée à l'effet stabilisant que la végétation peut avoir sur les gisements de carrière.

Ce choix a été motivé par l'intention de privilégier la conservation des gisements présentant une moindre propension à la rupture et d'orienter la gestion du bassin de marbre vers une réduction de la production de sédiments. En particulier, on a choisi de classer la végétation, en fonction de la distribution du couvert végétal dominant en 3 macro-classes:

- 1) Ravaneto sans couvert végétal: toutes les zones de gisement dans lesquelles le couvert est minimum ou totalement absent et il n'y a pas de facteur stabilisant ou anti-érosif;



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Figure 7 Ravaneto composto de matériaux fins et sans couverture végétale



Figure 8 Ravaneto récent composé de matériaux de taille variable sans végétation.

- 2) Ravaneto ayant un couvert herbacé: toutes les stations avec un couvert végétale composé d'espèces à port herbacé, continue ou non. Sur ces gisements, l'effet de la végétation consiste à la maîtrise de l'effet battant de pluie, à l'augmentation de la capacité d'infiltration et à la protection contre le ravinement; l'effet cohésif des systèmes racinaires paraît limité aux 5-10 premiers cm de sol, négligeable pour les phénomènes de glissements de terrain ou de coulée;



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

ADAPT

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Figure 9. Ravaneto a pezzatura variabile parzialmente colonizzato da specie erbacee, a prevalenza di *Brachipodium genuense*.



Figure 10 Ravaneto de taille variable partiellement colonisé par des espèces herbacées, avec une prévalence de *Brachipodium genuense*.

- 3) Ravaneto ayant un couvert arbustif: les ravaneti qui ont un couvert composé d'espèces à port arbustif: à tige lignifiée et d'une hauteur maximale de 2-3 m. Dans ces stations, l'effet stabilisant des systèmes racinaires peut s'étendre jusqu'à quelques dizaines de cm de profondeur, contribuant ainsi à une plus grande stabilité des pentes colonisées. L'effet est d'autant plus important que les débris sont fins, et donc soumis au phénomène de saturation de surface. Dans la plupart des stations, il y a la présence d'espèces envahissantes, en particulier *Buddleja davidii*. En identifiant les zones les plus intéressantes



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

pour la protection, ce facteur doit être pris en considération, en privilégiant les stations où les invasifs sont moins présents ou en prévoyant des interventions de confinement et d'éradication.



Figure 11 Ravaneto colonisé par des espèces herbacées et arbustives xérophiiles.



Figure 12 Ravaneto ayant couvert herbacé et arbustif (*Spartium junceum*) en accroissant.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Ravaneto ayant un couvert arboré: les gisements présentant un couvert à prédominance d'espèces végétales lignifiées d'une hauteur supérieure à 3 m. Souvent dans ces stations il y a la coexistence de différents étages: la strate arboré, arbustive et herbacée, avec une diversité d'espèces remarquable. Dans de telles conditions la *Buddleja* est présente mais souvent restreinte par la compétition avec des espèces capables d'atteindre de plus grandes dimensions en lui soustrayant d'espace. En particulier, des peuplements structurés avec une prévalence d'*Ostrya carpinifolia*, *Fraxinus ornus*, *Populus nigra*, *Quercus ilex* ont été trouvés. Dans certaines stations, la présence d'un horizon organique au sol, qui peut empêcher la reconnaissance du matériau détritique sous-jacent, a été observée. Les ravaneti les plus colonisés présentent des perturbations liées aux glissements de terrain et aux coulées plutôt limités: les systèmes racinaires profonds et le haut degré de couvert végétal contribuent à contrer ces phénomènes. Du point de vue de la stabilité et de la production de sédiments, ces ravaneti sont certainement à protéger, car ils constituent un stade avancé de successions secondaires actives depuis plusieurs dizaines d'années.

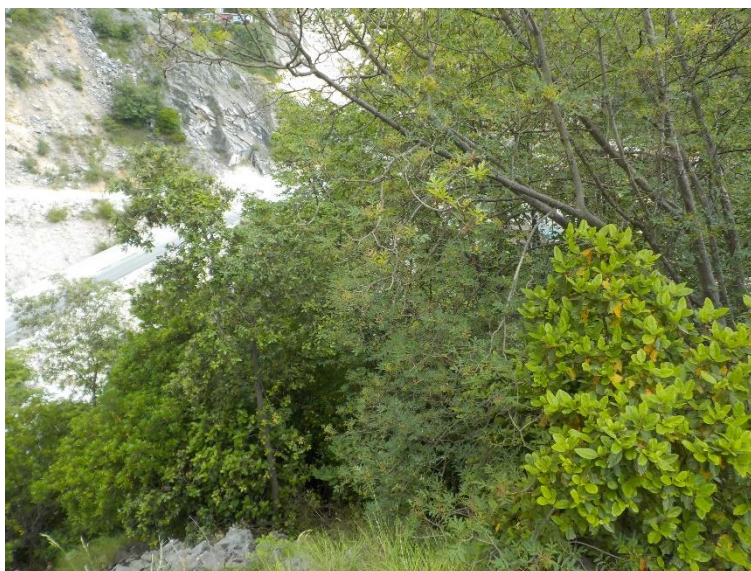


Figure 13 Couvert arboré à prévalence de *Fraxinus angustifolia* et *Quercus ilex*, conjointement à la strate arbustive (en photo, entre les autres, on peut observer *Arbutus unedo* et *Viburnum lantana*) et herbacée (*Brachipodium genuense*).



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Figure 14 . Couvert arboré discontinu (*Populus tremula*, *Fraxinus ornus*, *Alnus cordata*) en alternance à des parcelles ayant couvert arbustif ou herbacé (on peut trouver *Spartium junceum* et *Buddleja davidii*).

En faisant une analyse croisée avec les informations données par le Dr. Grazzini (2017), il a été possible d'identifier des polygones de végétation sur ravaneto où la présence d'« habitats d'intérêt », ayant une valeur naturaliste particulière, conformément à L.R. 56/00 et la directive 92/43 / CEE, a été repérée. Dans la Carte ces polygones ont été marqués d'un astérisque rouge.

Participation à des séminaires, conférences, congrès; titres des rapports présentés concernant le projet de recherche

L'avancement de la recherche a été présenté aux autres partenaires du projet le 28 février 2019, à Toulon, dans le cadre d'une réunion du comité transfrontalier.

Titre de l'intervention: La forêt et la planification territoriale: "Comprendre le rôle de la végétation dans le contraste à l'instabilité hydrogéologique et l'adaptation au changement climatique"

Publications regardant le projet de recherche

"Carte des paramètres de sélection des ravaneti à protéger" Carlo BARONI , Linda ALDERIGHI, Francesco BORSACCHI, Giuseppe BRUSCHI, Alessandro ERRICO, Alessandra PACCIANI, Federico PRETI, Maria Cristina SALVATORE



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

ADAPT

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

3. L'apport de l'effet cohésif des racines sur la stabilité des ravaneti

Afin d'analyser l'effet stabilisant de la végétation sur les ravaneti, 15 plantes de différentes espèces (représentatives de l'analyse de la végétation mentionnée aux paragraphes précédents) avec un diamètre moyen de 6 cm ont été étudiées, et 2 zones d'essai sur ravaneti et un tiers de carpineto avec 44 plantes avec des tiges dont le diamètre varie de 11 à 44 cm. .

Chacune des 15 plantes a été extraite et apportée aux laboratoires du DAGRI UniFi pour déterminer la distribution du Rapport de la Surface d'Enracinement RSE: le rapport entre la Surface des racines et la Surface du sol présentant enracinement à différentes profondeurs.

Le profil du sol a été caractérisé en s'appuyant sur la présence de squelettes et de stratifications, estimant la cohésion et l'angle de friction interne.





Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

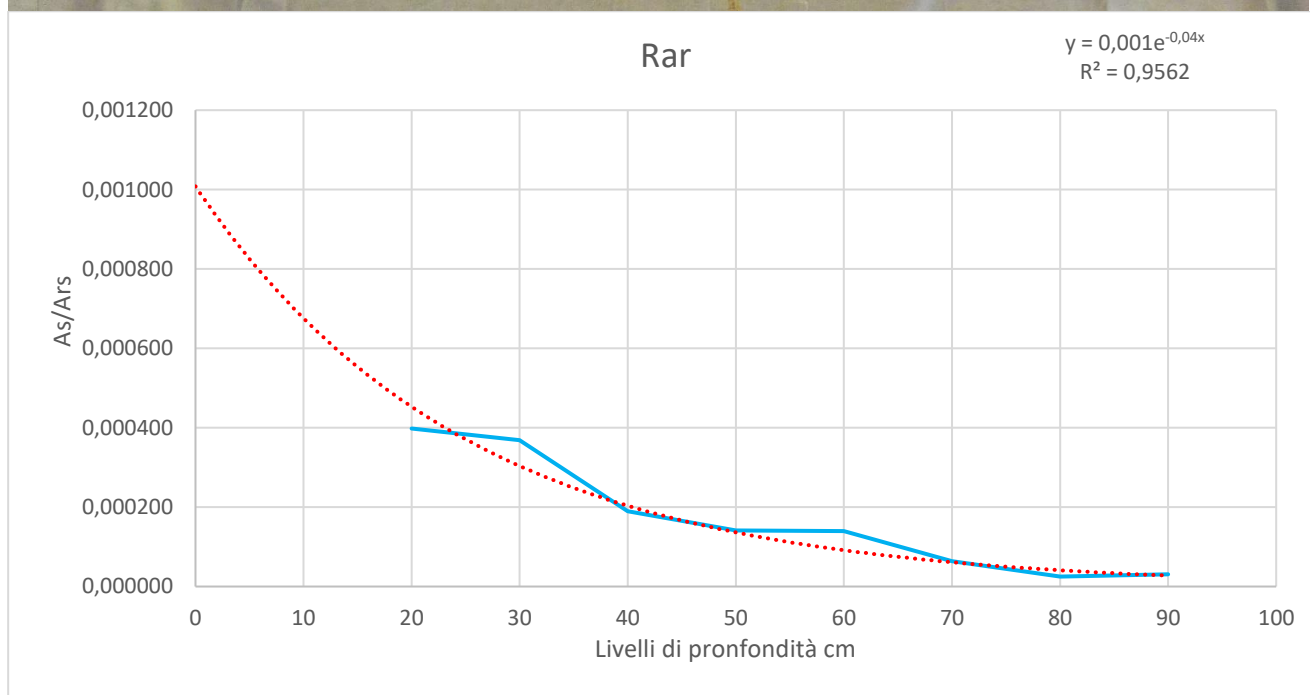
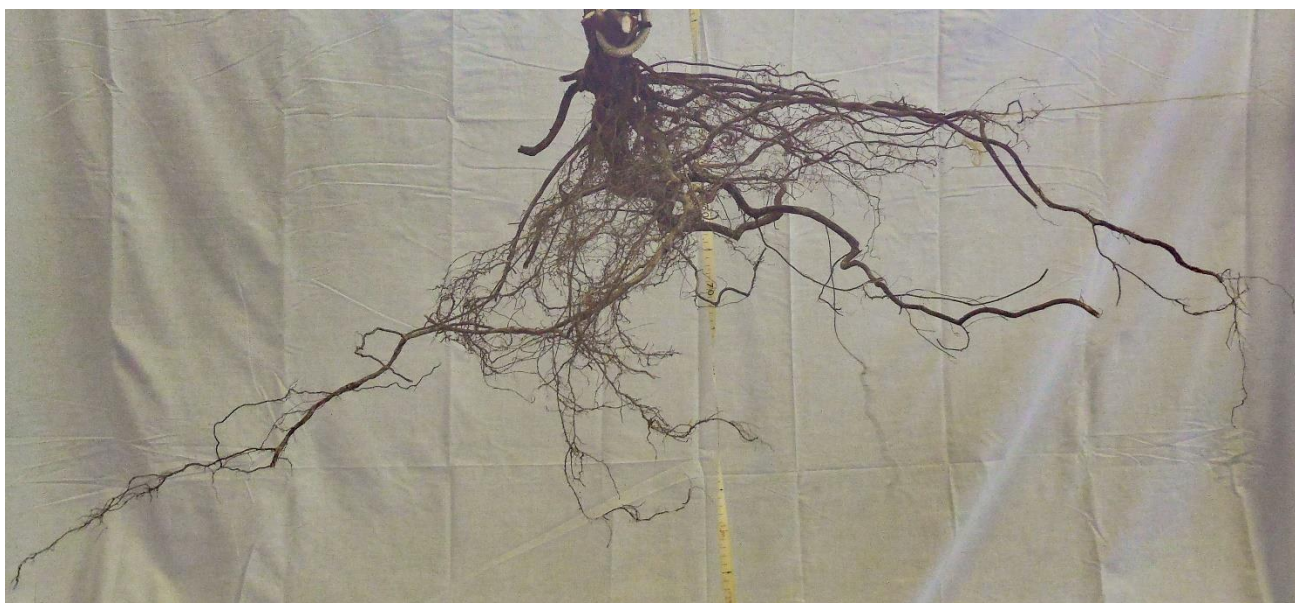


Figure 15 Système racinaire d'*Ostrya carpinifolia* et son graphique de distribution de densité racinaire

L'analyse de la surface terrière dans la placette a permis de déterminer la tendance de la cohésion radicale pour les analyses de stabilité de la pente du ravaneto, décisive pour la planification d'interventions d'ingénierie naturaliste ou de reboisement (augmentation du facteur de stabilité FS avec pente indéterminée et Slip4Exe). Les méthodes d'investigation sont celles de Preti et al., 2010.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

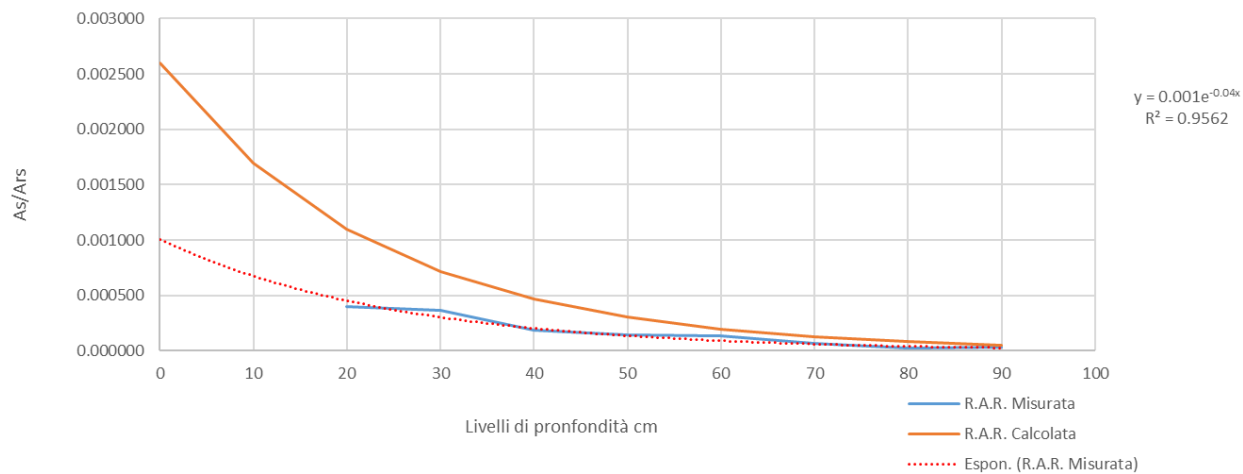


Figure 16 La comparaison des données (plantes de petit diamètre R.A.R. et diamètre des plantes de la zone d'essai) a permis d'obtenir la R.A.R. de la population.



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

ADAPT

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

4. La production potentielle de débris ligneux

Afin d'estimer la production potentielle de débris ligneux du bassin de Carrione, les quantités de biomasse forestière présentes dans les zones d'instabilité du dernier alluvionnement (de 2003 à 2014) ont été déterminées.

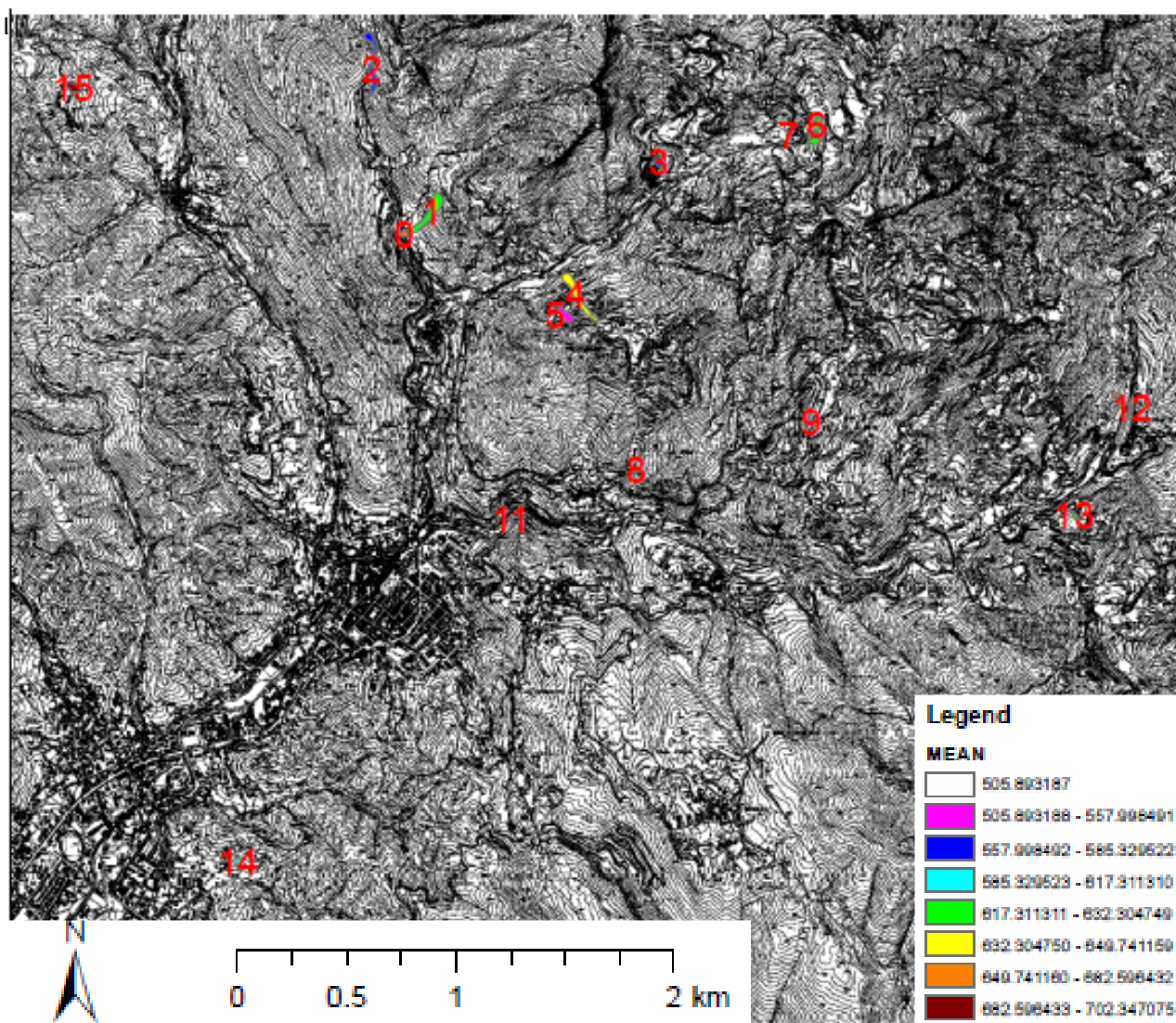


Figure 17 Volumes de bois estimés / ha pour les zones touchées par l'instabilité entre 2003 et 2014



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

ADAPT

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant, où la valeur moyenne et l'écart type se réfèrent aux m3 de bois:

Rowid	FID	COUNT	AREA	MEAN	STD
1	0	3	1586.96497	168.992169	6.095112
2	1	22	11637.743116	127.190562	8.079868
3	2	20	10579.766469	151.024514	18.946221
4	3	3	1586.96497	125.322037	1.892722
5	4	21	11108.754793	159.29605	19.236605
6	5	8	4231.908588	153.216217	19.251241
7	6	12	6347.859881	147.562557	23.937799
8	7	2	1057.976647	154.47767	1.859344
9	8	3	1586.96497	105.976141	11.49239
10	9	2	1057.976647	145.48206	2.594065
11	12	8	4231.908588	160.203635	18.730828
12	13	3	1586.96497	172.156859	3.120985
13	14	3	1586.96497	119.665491	27.966993
14	15	8	4231.908588	100.026944	14.807306



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

5. Etude éco-hydraulique de la Fossa Maestra

Dans le domaine municipal de Carrare, un problème critique particulièrement important est représenté par le réseau d'assainissement; autrefois utilisé pour maintenir le marge de cultivation dans les zones agricoles, aujourd'hui il sert à recevoir et éliminer l'eau de pluie des zones fortement urbanisées.

Le réseau d'écoulement des « eaux basses » a parmi ses principaux axes la Fossa Maestra, dont l'entretien est pris en charge par le Consorzio di Bonifica 1 Toscana Nord. Dans le cadre du projet Adapt, une évaluation par modélisation de l'efficacité hydraulique du cours d'eau déjà mentionné a été réalisée, avec une attention particulière aux effets hydrauliques des différents types de gestion considérés.

Cette étude a fait l'objet d'une thèse de Master en Sciences et Technologies des Systèmes Forestiers, Programme d'Ingénierie Forestière, soutenue par Tiziano Viani. Le prof. F. Preti a joué le rôle de directeur de thèse tandis que le Dr A. Errico était le co-directeur. Le résumé de la thèse et un extrait de l'étude concernant la Fossa Maestra sont présentés ci-dessous.

Titre de la thèse: GESTION DE LA VÉGÉTATION RIVERAINE DANS LES CANAUX D'ASSAINISSEMENT: ANALYSE PAR MODÉLISATION SOUTENANT DE CHOIX OPERATIONNÉL POUR UNE PLUS GRANDE DURABILITÉ DES INTERVENTIONS

Thèse de Tiziano Viani, Directeur de thèse prof. Preti, Codirecteur Dott. Agr. Alessandro Errico

Résumé

Cette thèse vise à apporter un soutien à la gestion future de la végétation présente dans et sur les rives des canaux d'assainissement des municipalités de Versilia et Massa - Carrara, à travers des modélisations élaborées sur Excel et Hec - Ras. Les deux principales études de cas examinées sont la Fossa Maestra (municipalité de Carrara) et le Fosso Bresciani, situés dans l'arrière-pays de Viareggio et considérés comme représentatifs de la plupart des canaux d'« eau basse » présents dans la Bonifica entourant le lac Massaciucoli.

Afin d'estimer le coefficient de rugosité (n de Manning), la méthode Luhar & Nepf, qui quantifie l'impact de la végétation sur la surface frontale d'une section de canal, a été choisie. Considérée la distribution inégale de la rugosité dans la section du canal la formule a été appliquée à des sous-sections dans lesquelles le canal a été divisé. La méthode pour les sections composées proposée par Colebatch est servie à calculer le coefficient de rugosité équivalent, la moyenne du coefficient de rugosité de toutes les sous-sections.

Pour la modélisation en écoulement permanente sur Hec-Ras, les coefficients de rugosité mentionnés dans des études scientifiques menées en Versilia par l'Université de Florence et ceux obtenus pendant une première phase de la thèse par modélisation sur Excel, ont été pris en compte.

Pour ce qui concerne la Fossa Maestra, les résultats montrent qu'il serait actuellement difficile d'appliquer une gestion douce en raison de son tracé et des zones déprimées le long de ses rives.

Une éventuelle modification de la section, consistant dans l'élargissement de la base principale, serait empêchée par la présence d'infrastructures, qui ne permettraient pas une expansion continue.

Les résultats de la modélisation effectuée sur le Fosso Bresciani, de l'autre partie, indiquent la possibilité, à la suite d'une modification adéquate du profil du canal, de parvenir à une capacité d'élimination des eaux qui permettrait à la végétation de croître au moins sur un côté du canal.

Des avantages significatifs en termes de qualité de l'eau et d'amélioration du paysage pourraient être apportés par la plantation, sur l'autre côté du canal, d'espèces arborées qui n'empêcheraient pas l'écoulement de l'eau dans la section et donneraient de l'ombre au lit du chenal

L'individuation de bandes à renaturer selon les hypothèses de gestion évaluées dans ce document, peut être appliquée à de nombreux des canaux faisant partie du réseau d'assainissement sous la gestion du Consorzio di Bonifica 1 Toscana Nord. Cependant, la mise en œuvre de techniques de gestion avec le moins d'impact possible



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

doive faire l'objet d'une évaluation au cas par cas, visant à quantifier la durabilité économique et la compatibilité hydraulique. Le but de cette thèse est de fournir une méthode de travail pour identifier le scénario de gestion le plus approprié pour chaque contexte.

5.1 Les zones d'étude: les canaux d'assainissement de la Versilia et de Massa-Carrara (du Plan de Classification du Consorzio Toscana Nord)

Déjà au IX^{ème} siècle avant J.C. le territoire de la Toscane était fortement boisé. La superficie forestière s'étendait dans les collines comme dans les plaines. Il y avait une situation de désordre due aux débordements des rivières et à la formation de marais et de lagunes côtières à l'époque. Cette instabilité hydraulique dans les territoires particulièrement déprimés de l'actuelle Versilia, a donné naissance à des milieux humides. En outre, la présence de dunes sur la côte empêchait le correct écoulement de nombreuses courses d'eau naturels. Les premières interventions de protection du sol dans la bande côtière ont été enregistrées depuis l'époque étrusque, mais le vrai développement remonte à l'époque romaine. L'œuvre de pacification des territoires, conduite par Rome, a entraîné une urbanisation des principaux carrefours des voies de communication, le développement contextuel de l'agriculture et l'intensification des travaux de remise en état. Les Fossa Papiriane del Massaciucoli a été construite en ces temps pour permettre le drainage des eaux stagnantes ; c'est, peut-être, la première intervention en Versilia d'un programme de défense des sols qui a duré des siècles, jusqu'à l'avènement des pompes de relevage qui ont permis de réaliser une véritable "remise en état" dans une zone déprimée dont les eaux devaient être porté à un plus haut niveau pour s'écouler.

L'activité d'assainissement constitue l'ensemble d'interventions visant à assurer l'écoulement des eaux, la salubrité et la défense hydraulique du territoire, la régulation des cours d'eau naturels, l'approvisionnement et l'utilisation rationnelle des ressources en eau pour les usages agricoles en connexion avec les plans d'utilisation de l'eau potable et industrielle, ainsi que d'adapter, de compléter et d'entretenir les travaux d'assainissement et d'irrigation déjà achevés.

Par conséquent, l'«assainissement» est l'acte d'amender, d'améliorer quelque chose; dans ce sens, ce terme peut être utilisé de différentes manières, toutes parviennent à la définition de la remise en état comme un nécessité de «construction» et d'entretien du territoire.

On peut distinguer deux types de « assainissement »:

- l'ensemble d'activités qui permettent une exploitation optimale des terres, dans la mesure où cela est nécessaire à leur culture, concept qui a donné lieu à l'assainissement des terres;
- lorsque, d'autre part, l'objectif est de réguler le débit des eaux de surface, de contrôler les aquifères, l'objectif est de défendre le territoire et donc on parle d'assainissement hydraulique.

5.1.1 Cadre géographique et évolution géomorphologique de la "Costa Apuana".

La Costa Apuana est constituée d'une mosaïque de paysages modelés dans le cadre des dynamiques de formation et d'évolution géologique et géomorphologique de ce secteur des Apennins septentrionaux. Les paysages dominants sont ceux montagneux typiques des Alpes Apuane, comparés au XIX^{ème} siècle par le géographe Emanuele Repetti à "une tempête en mer pétrifiée", qui contraste la vaste plaine côtière, désormais fortement urbanisée. Les Alpes Apuane, comme le reste de la chaîne des Alpes et des Apennins,



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

sont le résultat de contraintes compressives engendrant plis et nappes de la dislocation tectonique tertiaire des domaines de Ligurie et Toscane.

La plaine semble actuellement consister en une coalescence de cônes de déjection de l'Holocène, provenant des principaux cours d'eau de la plaine-même (ruisseau Carrione, rivière Frigido, rivière Versilia, etc.), reposant sur des cônes pléistocènes. Le substrat est constitué de plusieurs cycles de sédiments marins et continentaux qui ont rempli une dépression tectonique subsidente (Bacino Versiliese - Pisano) délimitée par un système de failles qui, dès Miocène supérieur, se sont formées en direction des Apennins pendant la phase de détente de l'orogénèse. La dépression fait partie d'un bassin plus vaste qui s'étend entre les Alpes Apuane et les montagnes de Pise (Dorsale Medio Toscana) à l'est, les montagnes de Livornesi au sud et la crête submergée de Viareggio à l'ouest. La création de la plaine a été conditionnée par la tendance à la subsidence du bassin qui, par les oscillations du niveau de la mer au Pliocène et au Pléistocène, a favorisé le dépôt de sédiments provenant de l'érosion des Alpes Apuane et, dès Pléistocène moyen, du Fleuves Magra, Serchio et Arno.

Le processus de subsidence est encore actif, accentué dans les zones d'assainissement où le phénomène est induit par la constipation des terres suivie aux interventions effectuées dans les premières années du XXe siècle. L'évolution naturelle du phénomène est également affectée par l'intensification des prélèvements d'eaux souterraines à usage agricole, industriel et civil. La zone côtière est caractérisée par une vaste côte sablonneuse qui avait autrefois un système de dunes et de zones rétro-dunaires dont il demeure actuellement peu de résidus. Ce qui reste des milieux humides, une fois étendues sur toute la côte, peut être reconnu près des zones rétro-dunaires.

5.1.2 Géologie, géomorphologie et hydrogéologie du comprensorio

La portion de territoire gérée par le Consorzio Toscana Nord, qui comprend toutes les vallées montagneuses du Serchio et du Magra au-delà des montagnes de Pisane, se caractérise par la présence de grands amas rocheux, largement couverts par fines matériaux meubles et végétation.

Dans ce domaine aux grandes pentes, en particulière celui des Alpes Apuane et d'une grande partie des Apennins, l'accès et la praticabilité avec les moyens de transport habituels résultent très difficiles. Encore, le pouvoir de rétention en eau du sol est très faible, à l'exception de la « cintura Apuana », près de la Versilia, où il existe des phénomènes karstiques importants.

Au fonds des vallées du Serchio et du Magra, la présence de gisements alluviaux ayant granulométrie grossière caractérise la couche superficielle du sol. La côte est caractérisée par la forte présence de gisements fluvio-marins avec des exceptions localisées dans le bassin du lac Massaciucoli, où devient significative la présence de couches tourbeuses parfois d'épaisseur considérable. Dans les zones côtières, il y a de grands milieux humides partiellement récupérées, et l'influence du coin marin détermine un degré élevé de salinisation des eaux du sous-sol.

5.1.3 L' imperméabilisation du sol

Le territoire géré par le Consorzio 1 Toscana Nord se caractérise par de grands espaces verts situés dans les vallées et les ramifications des rivières Magra et Serchio ainsi que sur les montagnes Pisane et les collines de la Pianura Lucchese et des Cerbaie. Les amas rocheux abondent le long de tout l'arc des Alpes Apuane et sur les sommets des Apennins toscano-émilien. Un haut degré d'urbanisation caractérise la zone côtière de Massa à Viareggio ainsi que la Pianura Lucchese qui comprend le centre historique de Lucca et sa périphérie. Dans la zone de l'ancienne Alveo del Lago di Sesto, le paysage est à prévalence rurale. La figure 18 montre l'index d'imperméabilisation du sol (Extrait du "Plan d'orientation ayant la valeur du plan de Plan d'aménagement paysager – Rapport environnemental).



Interreg



UNIONE EUROPEA



ADAPT

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

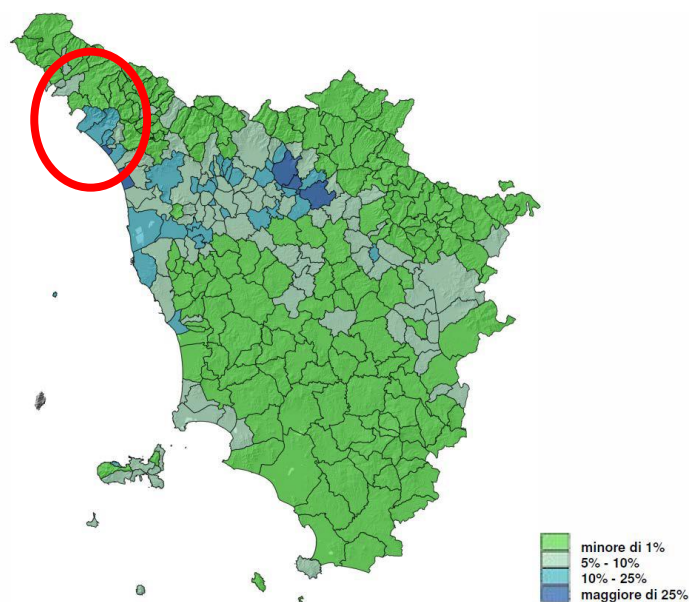


Figure 18 Carte de l'index d'imperméabilisation des sols (la zone d'étude est encadrée en rouge)

5.1.4 Considérations sur le risque géologique / hydrogéologique de la zone d'étude

Le domaine géré par le Consorzio 1 Toscana Nord est sans aucun doute parmi les plus complexes au niveau national du point de vue de la gestion des risques géologiques et hydrogéologiques. Le microclimat particulier qui le caractérise, conjointement à la localisation géographique et morphologique du territoire, favorise le développement de phénomènes pluviométriques fréquents, parfois intenses et impulsifs.

L'orographie, caractérisée par la brusque augmentation des altitudes des plaines côtières vers l'arrière-pays, grandit les effets sur le sol résultant d'événements météorologiques brefs et de forte intensité. Le côté montagneux est principalement caractérisé par des amas rocheux largement couverts par fines matériaux meubles et végétation, extrêmement instables, qui favorisent le développement de glissements de terrain. Les plaines de l'autre partie, sont caractérisées par la subsistance de phénomènes de stagnation des eaux dans de vastes zones autrefois récupérées ou par des phénomènes de dépression des sols déterminés par la présence d'imposants substrats tourbeux dans certaines parties du territoire (ex lit de rivière du Lago di Sesto et de l'arrière-pays Versiliese surtout)

5.2 La Fossa Maestra

La Fossa Maestra a une morphologie différente de celle à géométries canoniques décrites jusqu'à présent, car la pente du fond n'est pas constante et la géométrie même du canal se modifie dans toutes sections.

Cela a conduit à mesurer des débits maximums de référence basés sur la gestion, avec des périodes de retour très faibles regard certaines sections ayant dimensions et pentes inadéquates.

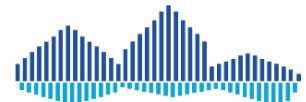
La Fossa Maestra présente à la sortie, qui se produit directement en mer, une pompe de relevage avec une porte d'écluse. Lorsqu'il y a marée haute, la porte est fermée afin de ne pas laisser entrer l'eau de la mer en raison de son plus haut niveau par rapport au canal naturel. Pour les élaborations HEC, on fait référence à la condition d'écoulement uniforme, avec sortie naturelle, sans l'aide de la pompe de relevage dont le



Interreg



UNIONE EUROPEA



ADAPT

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

fonctionnement change la pente motrice de l'eau de la pente du fond au niveau de la surface libre de l'eau. Ces études complémentaires pourraient faire l'objet d'une autre thèse.

Les gestions hypothétiques, comme pour le Fosso Bresciani, peuvent être plus ou moins invasif, comme le canal d'écoulement et le fauchage partielle sur une section reprofilée.

Canal au sol en "mauvais état d'entretien": une opération de nettoyage avec pelleuse au godet à grille est prévue afin de ramener le chenal aux conditions de conception (Manning n égal à 0,03).

Hypothèse d'abandon partiel sur une rive: sur la rive gauche et sur la rive droite on agit comme ci-dessus (n de Manning égal à 0,03), et sur la rive droite on laisse pousser la végétation riveraine (n de Manning égal à 0,2).

Le scénario qu'on va décrire prévoit un reprofilage du canal sur la rive droite, qui comportera l'élargissement de la base en crue deux fois celle de la section d'origine. Dans ce cas, les géométries sont irrégulières, donc on a calculé une moyenne des différentes largeurs au niveau en crue, avec un résultat de 5 mètres.

On a choisi de reprofiler la rive droite qui présente des nombreux espaces verts et ceux des bâtiments à la frontière avec la Fossa Maestra, tandis que la rive gauche où on trouve une route municipale qui court en parallèle et la plus grande concentration de bâtiments.

Comme mentionné au paragraphe précédent, nous essayerons d'imaginer un scénario de gestion à faible impact environnemental, pour améliorer les caractéristiques microclimatiques au sein du canal et favoriser le développement de la biodiversité:

Hypothèse d'abandon total sur la rive droite: sur la rive gauche et en bas (n de Manning égal à 0,03) une opération de nettoyage avec pelleuse au godet à grille monté sur bras articulé est prévue, tandis que sur la rive droite il y aura un abandon total (Manning n égal à 0,2).

5.2.1 Contrôles hydrauliques en écoulement permanent de la Fossa Maestra

La Fossa Maestra, comme expliqué ci-dessus, présente une importante variabilité morphologique qui, avec des périodes de retour faible, affecte considérablement le débordement de certaines sections par rapport à d'autres ; encore, dans la partie en aval, certaines sections sont au-dessous du niveau de la mer, donc le territoire sera souvent sujet aux inondations. On a choisi de représenter dans ce document seulement les sections les plus représentatives de la Fossa Maestra en termes de débordement précoce en cas de crue.

Pour la modélisation, des coefficients de rugosité de Manning, obtenus par cette étude, et des valeurs de débit extrapolées à partir des courbes Tr / Q trouvées au cours d'études antérieures de la région (Benvenuti, 2016), ont été utilisés. Le plan ci-dessous, figure 6.1, montre la position des sections en amont, centrale et aval choisies pour la modélisation Hec..



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

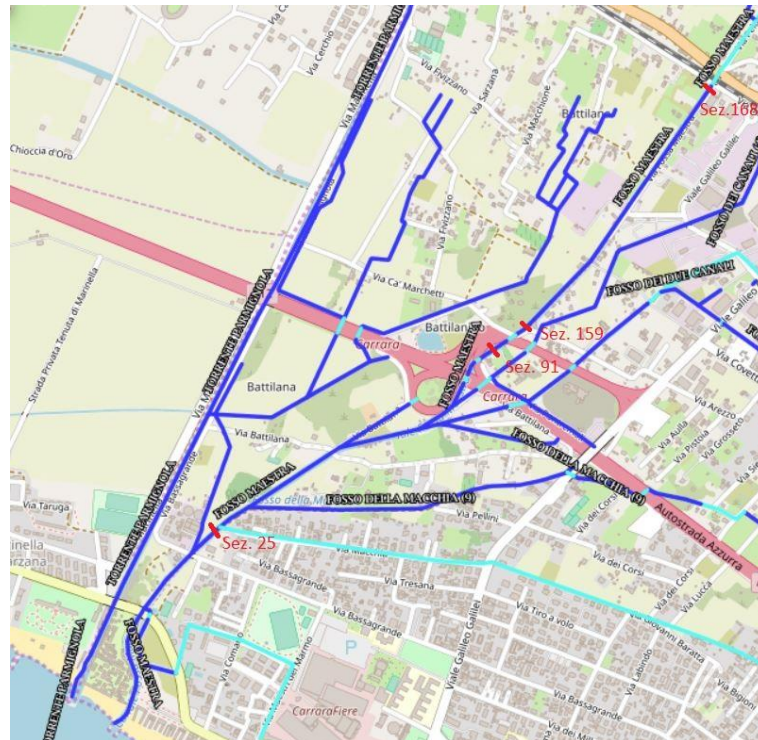


Figure 19 Planimétrie de la Fossa Maestra avec la localisation des sections choisies pour la modélisation (source: Geoportale Lamma Regione Toscana)

Ci-dessous, on peut observer le profil longitudinal de la Fossa Maestra (figure 6.2) calculé, selon les paramètres de projet, pour un événement de crue à période de retour égal à 30 ans; la ligne pointillée verte représente l'énergie (EG), la ligne bleue le profil liquide pour une période de retour de 30 ans (WS), la ligne noire décrit le fond du canal (Ground). En rouge pointillé, on voit les points critiques (Crit Tr 30), les deux sections aux extrémités: en amont il y a un canal couvert qui se jette dans un canal en plein air, tandis qu'en aval il y a une contre-pente négative.

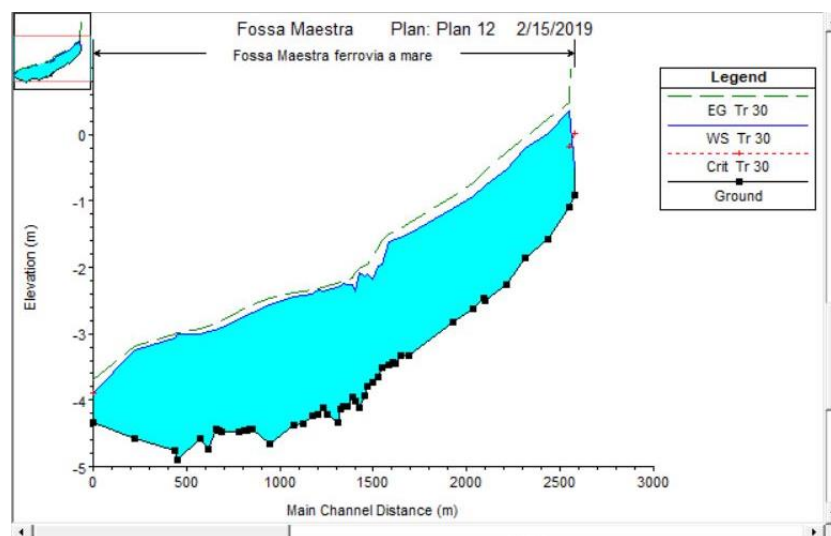


Figure 20 Profile liquide Fossa Maestra pour Tr 30 ans



Les sections choisies sont respectivement en amont (figure 21), au milieu (figure 22) et en aval (figure 23) de la Fossa Maestra; elles montrent le niveau d'eau pour un événement de débit avec période de retour inférieur à 1 an, avec une sortie naturelle mais sans l'utilisation de la pompe de relevage. Le niveau d'eau résulte aux limites des rives dans deux des trois sections représentées. Les coefficients de rugosité pour les 3 sous-sections sont égaux à 0,03 (condition prévue par le projet). La présence de végétation n'est pas considérée dans la section du canal.

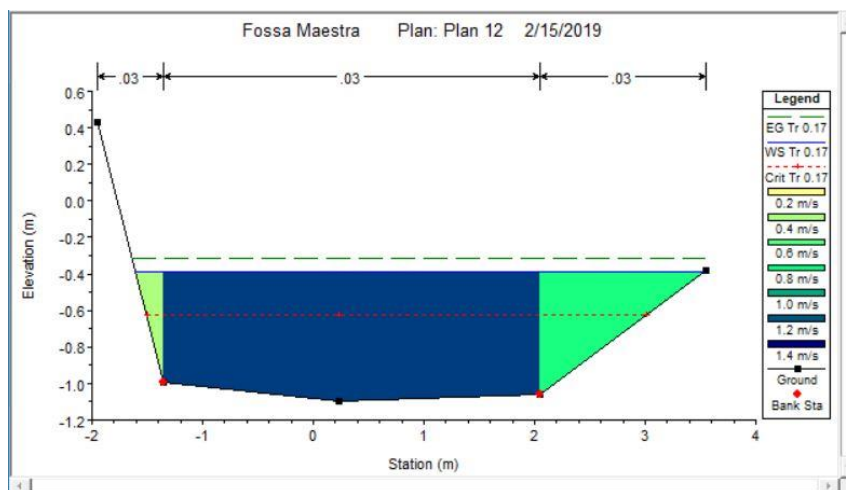


Figure 21 Section transversale en amont – Fossa Maestra

Le tableau 1 montre les paramètres caractéristiques pour des périodes de retour de 2 mois relatifs à la section 168 située en amont de la Fossa Maestra.

Tableau 1 Cohérence des données de la section 168 – Fossa Maestra

Plan: Plan 12 Fossa Maestra ferrovia a mare RS: 168 Profile: Tr 0.17					
		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	-0.31				
Vel Head (m)	0.07	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.030
W.S. Elev (m)	-0.39	Reach Len. (m)	114.96	114.96	114.96
Crit W.S. (m)	-0.63	Flow Area (m2)	0.08	2.31	0.50
E.G. Slope (m/m)	0.002386	Area (m2)	0.08	2.31	0.50
Q Total (m3/s)	3.30	Flow (m3/s)	0.03	2.90	0.37
Top Width (m)	5.14	Top Width (m)	0.26	3.40	1.49
Vel Total (m/s)	1.14	Avg. Vel. (m/s)	0.39	1.26	0.74
Max Chl Dpth (m)	0.71	Hydr. Depth (m)	0.30	0.68	0.34
Conv. Total (m3/s)	67.6	Conv. (m3/s)	0.6	59.3	7.6
Length Wtd. (m)	114.96	Wetted Per. (m)	0.66	3.40	1.63
Min Ch El (m)	-1.10	Shear (N/m2)	2.75	15.85	7.19
Alpha	1.11	Stream Power (N/m s)	1.08	19.91	5.33
Frctn Loss (m)	0.29	Cum Volume (1000 m3)	0.69	8.65	0.97
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	1.62	10.98	2.11

La section 91, choisie dans la zone centrale de la Fossa Maestra, est indiqué ci-dessous; une rive verticale sur la droite hydrographique est observable; comme dans le cas précédent, en simulant un événement ayant période de retour inférieur à 1 an, le niveau hydrographique résulte aux limites des rives.

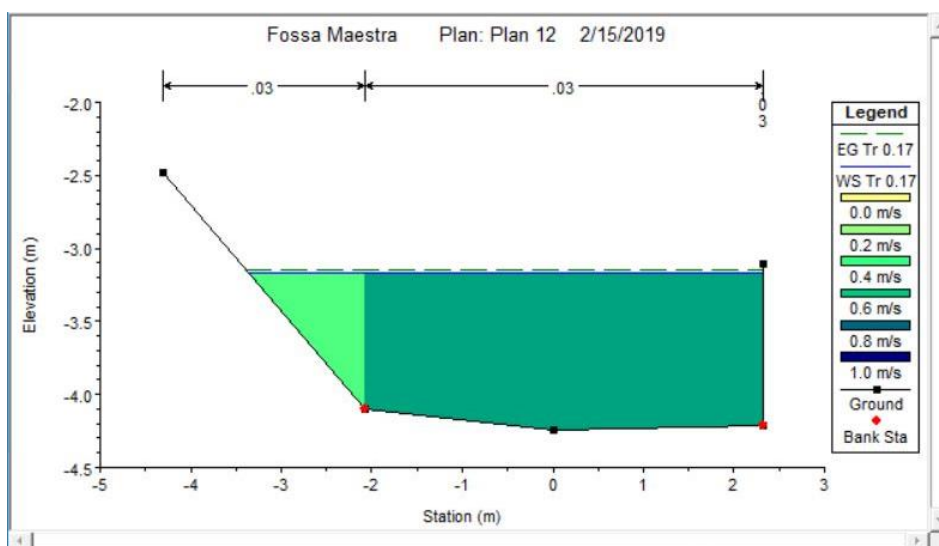


Figure 22 Section transversale dans la zone centrale - Fossa maestra

Le tableau 2 montre les paramètres caractéristiques pour des périodes de retour inférieur à 1 an relatifs à la section 91 située dans la zone centrale de la Fossa Maestra.

Tableau 2 Cohérence des données de la section 168 – Fossa Maestra

Plan: Plan 12 Fossa Maestra ferrovia a mare RS: 91 Profile: Tr 0.17					
Element		Left OB	Channel	Right OB	
E.G. Elev (m)	-3.14				
Vel Head (m)	0.02	0.030	0.030	0.030	
W.S. Elev (m)	-3.17	46.35	46.35	46.35	
Crit W.S. (m)		0.60	4.54	0.00	
E.G. Slope (m/m)	0.000400	Area (m2)	0.60	4.54	0.00
Q Total (m3/s)	3.30	Flow (m3/s)	0.21	3.09	0.00
Top Width (m)	5.69	Top Width (m)	1.28	4.40	0.01
Vel Total (m/s)	0.64	Avg. Vel. (m/s)	0.35	0.68	0.02
Max Chl Dpth (m)	1.07	Hydr. Depth (m)	0.47	1.03	0.52
Conv. Total (m3/s)	165.0	Conv. (m3/s)	10.4	154.6	0.0
Length Wtd. (m)	46.35	Wetted Per. (m)	1.58	4.41	1.04
Min Ch El (m)	-4.24	Shear (N/m2)	1.48	4.05	0.02
Alpha	1.07	Stream Power (N/m s)	0.51	2.75	0.00
Frctn Loss (m)	0.02	Cum Volume (1000 m3)	0.33	5.28	0.39
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.84	7.25	0.80

La section transversal 25 choisie en aval de la Fossa Maestra est indiqué ci-dessous; dans ce cas, en simulant un événement ayant période de retour inférieur à 1 an, un marge de sécurité hydraulique de 50 cm paraît en aval, tandis qu'en amont et dans la zone intermédiaire, le niveau hydrographique résulte aux limites des rives.

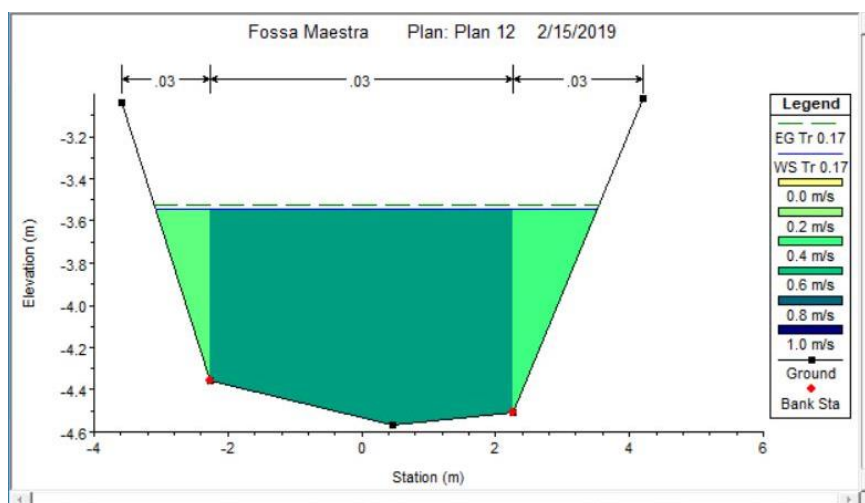


Figure 23 Sezione trasversale nella zona di valle – Fossa Maestra

Le tableau 3 montre les paramètres caractéristiques pour des périodes de retour inférieur à 1 an relatifs à la section 25 située en aval de la Fossa Maestra.

Tableau 3 Cohérence des données de la section 25 – Fossa Maestra

Plan: Plan 12 Fossa Maestra ferrovia a mare RS: 25 Profile: Tr 0.17					
E.G. Elev (m)	-3.52	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.02	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.030
W.S. Elev (m)	-3.55	Reach Len. (m)	115.40	115.40	115.40
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	0.33	4.29	0.60
E.G. Slope (m/m)	0.000463	Area (m2)	0.33	4.29	0.60
Q Total (m3/s)	3.30	Flow (m3/s)	0.10	2.97	0.23
Top Width (m)	6.60	Top Width (m)	0.82	4.53	1.25
Vel Total (m/s)	0.63	Avg. Vel. (m/s)	0.31	0.69	0.38
Max Chl Dpth (m)	1.02	Hydr. Depth (m)	0.41	0.95	0.48
Conv. Total (m3/s)	153.4	Conv. (m3/s)	4.8	138.0	10.6
Length Wtd. (m)	115.40	Wetted Per. (m)	1.15	4.54	1.58
Min Ch El (m)	-4.57	Shear (N/m2)	1.31	4.29	1.73
Alpha	1.11	Stream Power (N/m s)	0.41	2.97	0.65
Frctn Loss (m)	0.02	Cum Volume (1000 m3)	0.07	3.06	0.10
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	0.28	5.11	0.21

Les résultats ci-dessous supposent une gestion partielle du canal, avec un abandon total de la rive droite (n de Manning égal à 0,2) et l'utilise de la pelleuse sur la rive gauche et le fond, jusqu'à l'état de "canal sur terre en mauvais état d'entretien". Les sections sélectionnées sont situées respectivement en amont (figure 6.7), dans la zone centrale (figure 6.8) et en en aval (figure 6.9) de la Fossa Maestra; on va montrer le niveau d'eau pour un événement avec un débit de période de retour inférieure à 1, an avec une sortie naturelle, mais sans l'utilisation de la pompe de relevage. Notamment, le niveau d'eau résulte aux limites des rives dans deux des trois sections représentées.

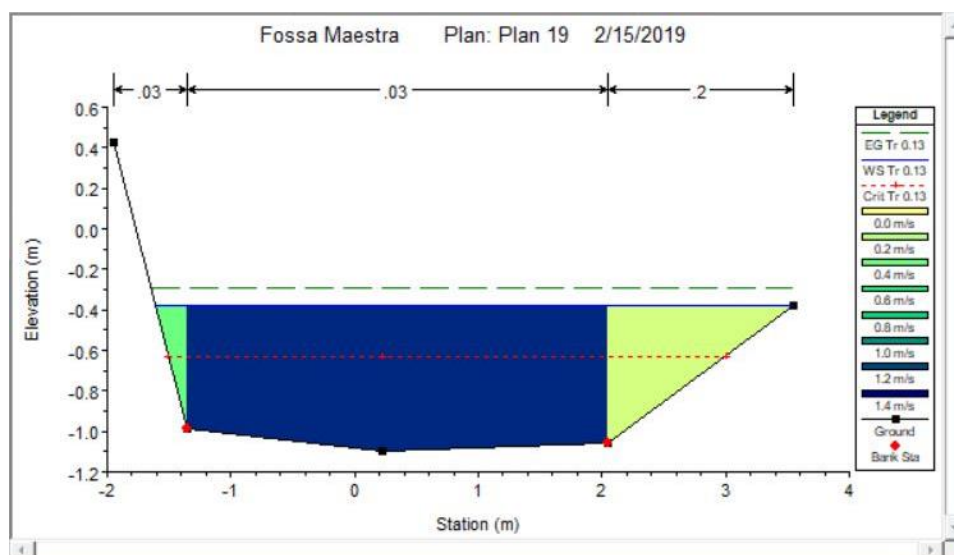


Figure 24 Section transversale en amont – Fossa Maestra

Le tableau 4 montre les paramètres caractéristiques pour des périodes de retour de 2 mois relatifs à la section 168 située en amont de la Fossa Maestra.

Tableau 4 Cohérence des données de la section 168 – Fossa Maestra

Plan: Plan 19 Fossa Maestra ferrovia a mare RS: 168 Profile: Tr 0.13					
		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	-0.30	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.200
Vel Head (m)	0.08	Reach Len. (m)	114.96	114.96	114.96
W.S. Elev (m)	-0.38	Flow Area (m2)	0.08	2.33	0.51
Crit W.S. (m)	-0.63	Area (m2)	0.08	2.33	0.51
E.G. Slope (m/m)	0.002487	Flow (m3/s)	0.03	3.01	0.06
Q Total (m3/s)	3.10	Top Width (m)	0.26	3.40	1.50
Top Width (m)	5.16	Avg. Vel. (m/s)	0.40	1.29	0.11
Vel Total (m/s)	1.06	Hydr. Depth (m)	0.31	0.69	0.34
Max Chl Dpth (m)	0.72	Conv. (m3/s)	0.6	60.4	1.2
Conv. Total (m3/s)	62.2	Wetted Per. (m)	0.66	3.40	1.65
Length Wtd. (m)	114.96	Shear (N/m2)	2.90	16.70	7.58
Min Ch El (m)	-1.10	Stream Power (N/m s)	1.17	21.56	0.87
Alpha	1.44	Cum Volume (1000 m3)	0.68	8.57	0.96
Frctn Loss (m)	0.30	Cum SA (1000 m2)	1.60	10.98	2.11
C & E Loss (m)	0.00				

La section transversale 159, choisie dans la zone centrale de la Fossa Maestra, est indiqué ci-dessous; dans ce cas avec un niveau hydrographique aux limites des rives en amont.

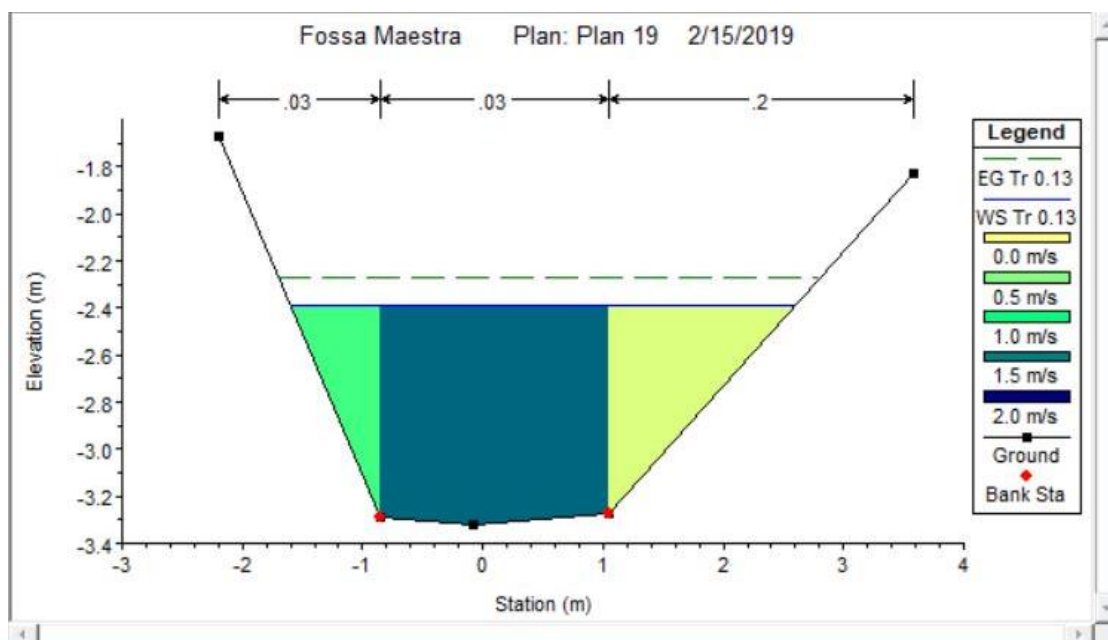


Figure 25 Section transversale dans la zone centrale – Fossa Maestra

Le tableau 5 montre les paramètres caractéristiques pour des périodes de retour inférieures à 1 an relatifs à la section 159 située dans la zone centrale de la Fossa Maestra.

Tableau 5 Cohérence des données de la section 159 – Fossa Maestra

Plan: Plan 19 Fossa Maestra ferrovia a mare RS: 159 Profile: Tr 0.17					
E.G. Elev (m)	-2.23	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.12	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.200
W.S. Elev (m)	-2.36	Reach Len. (m)	29.16	29.16	29.16
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	0.36	1.79	0.73
E.G. Slope (m/m)	0.002597	Area (m2)	0.36	1.79	0.73
Q Total (m3/s)	3.30	Flow (m3/s)	0.28	2.92	0.10
Top Width (m)	4.28	Top Width (m)	0.78	1.90	1.61
Vel Total (m/s)	1.14	Avg. Vel. (m/s)	0.76	1.63	0.14
Max Chl Dpth (m)	0.96	Hydr. Depth (m)	0.47	0.94	0.46
Conv. Total (m3/s)	64.8	Conv. (m3/s)	5.4	57.4	2.0
Length Wtd. (m)	29.16	Wetted Per. (m)	1.22	1.90	1.85
Min Ch El (m)	-3.32	Shear (N/m2)	7.61	23.98	10.11
Alpha	1.84	Stream Power (N/m s)	5.78	39.14	1.39
Frctn Loss (m)	0.04	Cum Volume (1000 m3)	0.58	6.85	0.61
C & E Loss (m)	0.02	Cum SA (1000 m2)	1.33	8.80	1.24

La section transversale 25, choisie dans la zone en aval de la Fossa Maestra, est indiquée ci-dessous; dans ce cas, avec un niveau hydrographique aux limites des rives en amont, résulte un marge de sécurité hydraulique de 60 cm

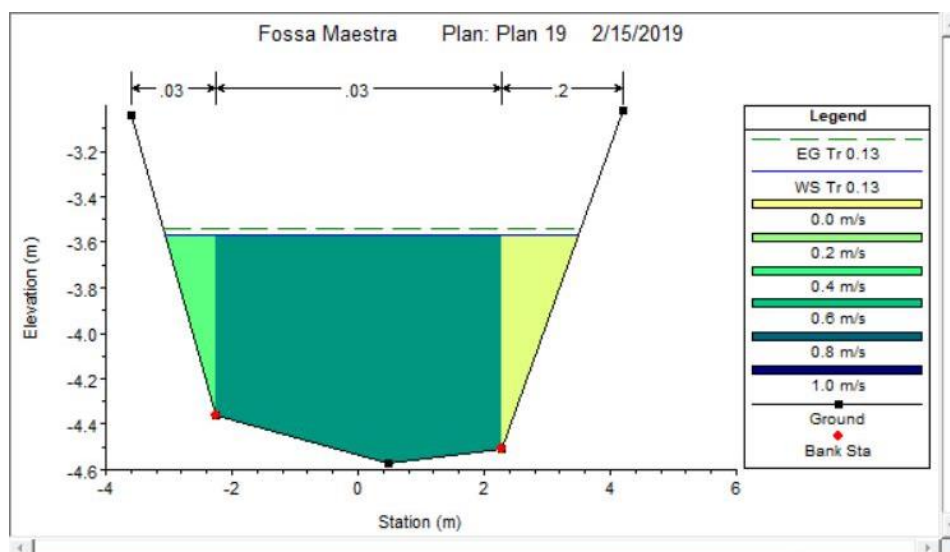


Figure 26 Section transversale en aval – Fossa Maestra

Le tableau 6.24 montre les paramètres caractéristiques pour des périodes de retour inférieures à 1 an relatifs à la section 25 située en aval de la Fossa Maestra

Tableau 6 Cohérence des données de la section 25 – Fossa Maestra

Plan: Plan 19 Fossa Maestra ferrovia a mare RS: 25 Profile: Tr 0.13					
E.G. Elev (m)	-3.54	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.02	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.200
W.S. Elev (m)	-3.57	Reach Len. (m)	115.40	115.40	115.40
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	0.32	4.20	0.58
E.G. Slope (m/m)	0.000497	Area (m2)	0.32	4.20	0.58
Q Total (m3/s)	3.10	Flow (m3/s)	0.10	2.97	0.03
Top Width (m)	6.56	Top Width (m)	0.80	4.53	1.23
Vel Total (m/s)	0.61	Avg. Vel. (m/s)	0.32	0.71	0.06
Max Chl Dpth (m)	1.00	Hydr. Depth (m)	0.40	0.93	0.47
Conv. Total (m3/s)	139.1	Conv. (m3/s)	4.5	133.1	1.5
Length Wtd. (m)	115.40	Wetted Per. (m)	1.13	4.54	1.55
Min Ch El (m)	-4.57	Shear (N/m2)	1.37	4.51	1.82
Alpha	1.30	Stream Power (N/m s)	0.44	3.18	0.11
Frctn Loss (m)	0.02	Cum Volume (1000 m3)	0.06	2.98	0.09
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	0.26	5.11	0.21

Les résultats ci-dessous (fig. 27) supposent un canal reprofilé par l'élargissement de la grande base de 5 mètres. De cette façon on laissera la rive droite complètement végétée pour aider la nidification de avifaune.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

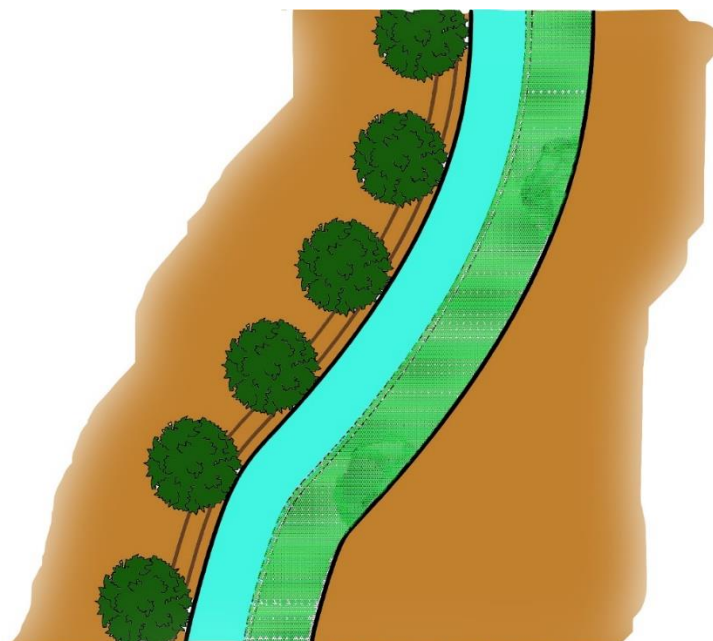


Figure 27 Planimétrie hypothétique d'une section reprofilée en droite hydraulique

La rive droite a un n di Manning de 0.2 tandis que sur la rive gauche et au fond on prévoit une opération de nettoyage avec pelleteuse au godet à grille jusqu'à l'état de "canal sur terre en mauvais état d'entretien". Les sections choisies sont respectivement en amont (figure 6.11), au milieu (figure 6.12) et en aval (figure 6.13) de la Fossa Maestra; elles montrent le niveau d'eau pour un événement de débit avec période de retour inférieur à 1 an, avec une sortie naturelle mais sans l'utilisation de la pompe de relevage. Le niveau d'eau résulte aux limites des rives dans deux des trois sections représentées.

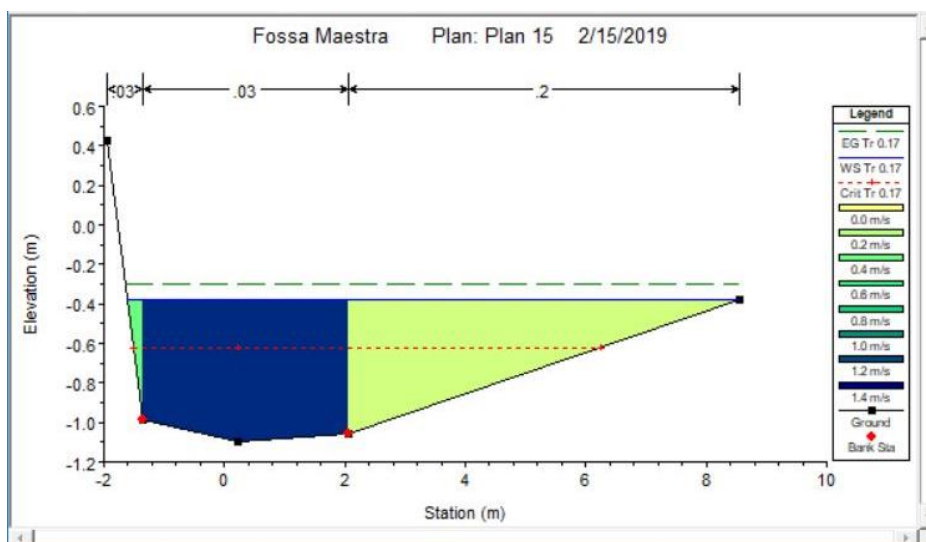


Figure 28 Hypothèse de section transversale en amont reprofilée – Fossa Maestra



Le tableau 6.25 montre les paramètres caractéristiques pour des périodes de retour inférieures à 1 an relatifs à la section 168 située en amont de la Fossa Maestra.

Tableau 7 - Consistenza dati della sezione 168 riprofilata – Fossa Maestra

Plan: Plan 15 Fossa Maestra ferrovia a mare RS: 168 Profile: Tr 0.17					
E.G. Elev (m)	-0.30	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.08	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.200
W.S. Elev (m)	-0.38	Reach Len. (m)	114.96	114.96	114.96
Crit W.S. (m)	-0.62	Flow Area (m2)	0.08	2.34	2.23
E.G. Slope (m/m)	0.002449	Area (m2)	0.08	2.34	2.23
Q Total (m3/s)	3.30	Flow (m3/s)	0.03	3.00	0.27
Top Width (m)	10.16	Top Width (m)	0.26	3.40	6.50
Vel Total (m/s)	0.71	Avg. Vel. (m/s)	0.40	1.28	0.12
Max Chl Dpth (m)	0.72	Hydr. Depth (m)	0.31	0.69	0.34
Conv. Total (m3/s)	66.7	Conv. (m3/s)	0.6	60.6	5.5
Length Wtd. (m)	114.96	Wetted Per. (m)	0.67	3.40	6.54
Min Ch El (m)	-1.10	Shear (N/m2)	2.87	16.48	8.20
Alpha	2.97	Stream Power (N/m s)	1.15	21.15	0.99
Frctn Loss (m)	0.29	Cum Volume (1000 m3)	0.70	8.71	3.88
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	1.64	10.98	8.66

La section transversale 91, choisie dans la zone centrale de la Fossa Maestra, est indiquée ci-dessous; dans ce cas résulte un niveau hydrographique aux limites des rives comme pour le débit du cas précédent.

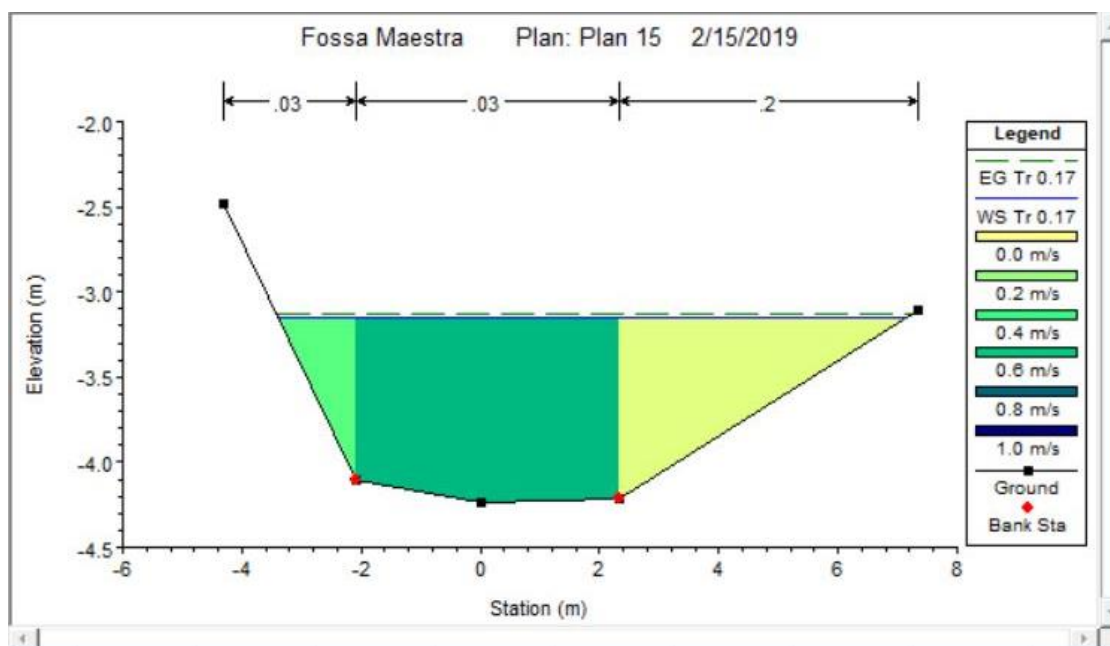


Figure 29 Hypothèse de section transversale dans la zone centrale reprofilée – Fossa Maestra

Le tableau 6.26 montre les paramètres caractéristiques pour des périodes de retour inférieures à 1 an relatifs à la section 159 située dans la zone centrale de la Fossa Maestra



Tableau 8 Consistenza dati della sezione 159 – Fossa Maestra

Plan: Plan 15 Fossa Maestra ferrovia a mare RS: 91 Profile: Tr 0.17					
E.G. Elev (m)	-3.13	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.02	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.200
W.S. Elev (m)	-3.15	Reach Len. (m)	46.35	46.35	46.35
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	0.62	4.62	2.56
E.G. Slope (m/m)	0.000344	Area (m2)	0.62	4.62	2.56
Q Total (m3/s)	3.30	Flow (m3/s)	0.20	2.94	0.15
Top Width (m)	10.53	Top Width (m)	1.30	4.40	4.83
Vel Total (m/s)	0.42	Avg. Vel. (m/s)	0.33	0.64	0.06
Max Chl Dpth (m)	1.09	Hydr. Depth (m)	0.48	1.05	0.53
Conv. Total (m3/s)	178.0	Conv. (m3/s)	10.9	158.9	8.3
Length Wtd. (m)	46.35	Wetted Per. (m)	1.61	4.41	4.94
Min Ch El (m)	-4.24	Shear (N/m2)	1.29	3.53	1.75
Alpha	2.06	Stream Power (N/m s)	0.42	2.25	0.10
Frctn Loss (m)	0.02	Cum Volume (1000 m3)	0.34	5.30	1.49
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.85	7.25	3.20

La section transversale 25, choisie dans la zone en aval de la Fossa Maestra, est indiquée ci-dessous; dans ce cas, avec un niveau hydrographique aux limites des rives en amont et dans la zone centrale, résulte un marge de sécurité hydraulique de 50 cm.

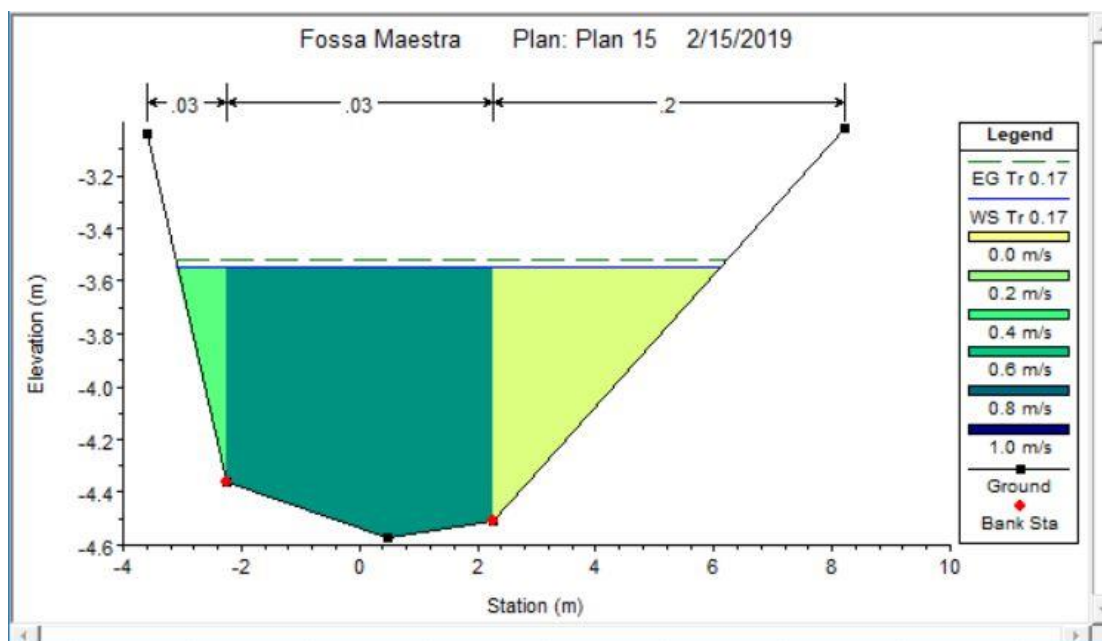


Figure 30 Hypothèse de section transversale en aval reprofilée – Fossa Maestra

Le tableau 9 montre les paramètres caractéristiques pour des périodes de retour de 2 mois relatifs à la section 25 située dans la zone en aval de la Fossa Maestra.



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

ADAPT

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Tableau 9 Cohérence des données de la section 25 reprofilée – Fossa Maestra

Plan: Plan 15 Fossa Maestra ferrovia a mare RS: 25 Profile: Tr 0.17					
		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	-3.52	Wt. n-Val.	0.030	0.030	0.200
Vel Head (m)	0.02	Reach Len. (m)	115.40	115.40	115.40
W.S. Elev (m)	-3.55	Flow Area (m2)	0.33	4.30	1.85
Crit W.S. (m)		Area (m2)	0.33	4.30	1.85
E.G. Slope (m/m)	0.000494	Flow (m3/s)	0.11	3.07	0.12
Q Total (m3/s)	3.30	Top Width (m)	0.82	4.53	3.84
Top Width (m)	9.19	Avg. Vel. (m/s)	0.32	0.71	0.07
Vel Total (m/s)	0.51	Hydr. Depth (m)	0.41	0.95	0.48
Max Chl Dpth (m)	1.02	Conv. (m3/s)	4.9	138.0	5.6
Conv. Total (m3/s)	148.4	Wetted Per. (m)	1.15	4.54	3.96
Length Wtd. (m)	115.40	Shear (N/m2)	1.40	4.59	2.27
Min Ch El (m)	-4.57	Stream Power (N/m s)	0.45	3.28	0.15
Alpha	1.84	Cum Volume (1000 m3)	0.07	3.06	0.44
Frctn Loss (m)	0.02	Cum SA (1000 m2)	0.28	5.11	1.17
C & E Loss (m)	0.01				



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

5.3 Discussion: possibilité de développement

La "re-découverte" de l'importance du rôle environnemental de la végétation le long des canaux est relativement récente et les opérations d'entretien pour la gérer, principalement liées à la nécessité d'assurer un écoulement d'eau rapide, ne tiennent pas encore suffisamment compte de l'écosystème des canaux. Une nouvelle logique multi-objectifs, qui vise à sauvegarder le marqué potentiel écologique du réseau d'eau artificielle, nécessite un effort important d'adaptation des techniques, des modèles d'organisation et des équipements afin de réduire l'impact environnemental causé par l'entretien de la végétation.

À cet regard, on a vu par nombreuses expériences acquises, qu'il est possible d'achever une grande marge d'amélioration, par rapport à l'entretien traditionnel, à partir des choix minutieux relatives aux portions du canal sur lesquelles entretenir la végétation aquatique et / ou riveraine et des moyens adaptés à la réalisation d'une coupe sélective.

Caractéristiques des lieux en permettent, des évaluations économiques impliquant l'expropriation des terres afin de laisser des bandes de végétation en abandon total, seront à faire. Ces actions ont déjà été entreprises par certains consortiums en Émilie-Romagne et Vénétie et ont été positives non seulement pour les caractéristiques décrites jusqu'à présent, mais aussi pour les améliorations apportées aux infrastructures environnantes qui enrichissent le patrimoine paysager.



Figure 31 Interventions d'amélioration environnemental des cours d'eau du Continent vénétien (Collettore di Favaro – VE) – projet Life Rinasce (Ruffini et al., 2018)

Une différente hypothèse (figure 32) prévoit d'adjoindre au remodelage du lit de la rivière et suivante colonisation à roseaux naturel précédemment traité, la création d'une plaine humide déprimée qui pourra être inondée à périodes alternées; ceci favorise le développement d'une nouvelle bande végétalisée capable de soutenir une inondation en cas d'événement intense..



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

ADAPT

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

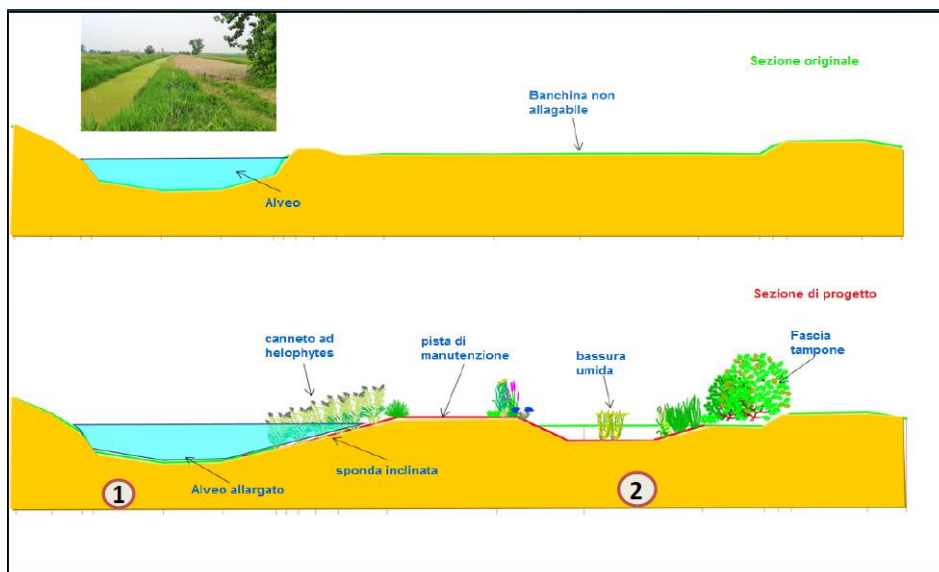


Figure 32 ipotesi di remodelage del lit d'un cour d'eau et création d'une plaine humide déprimée - projet Life Rinasce (Ruffini et al., 2018)

L'application de cette technique a apporté des avantages significatifs du point de vue de la qualité de l'eau dans le domaine gérée par le Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale. Certes, dans quelques années, lorsque que s'étendra le feuillage de la végétation riveraine (fig.7.3), actuellement à l'état de semis, le canal n'en bénéficiera en ombrage comme en beauté du paysage.

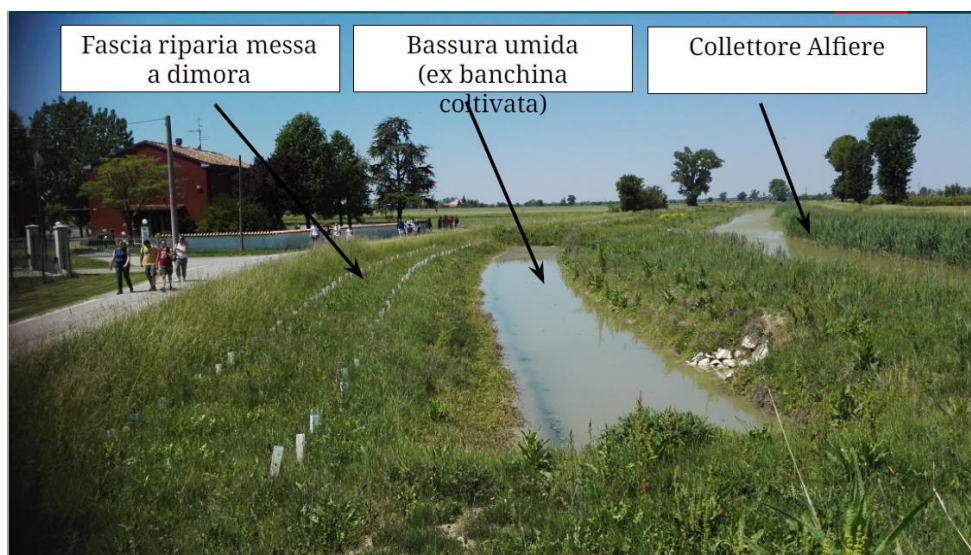


Figure 33 – Exemple de plaine humide déprimée auprès d'un canal pour les eaux basses dans la municipalité de Modena - projet Life Rinasce (Ruffini et al., 2018)

L'ombrage limite le développement de la végétation herbacée sur les rives et des algues dans le lit de la rivière avec une conséquente augmentation de la concentration d'oxygène dissous dans l'eau elle-même. Cette approche doit donc être dimensionnée au cas par cas, en fonction de la largeur du lit du fleuve, afin de réduire les phénomènes d'eutrophisation et, en même temps, de ne pas inhiber complètement la croissance du fleuve et de la végétation aquatique qui, comme on a vu dans les chapitres précédents, a un rôle fondamentale.



Interreg



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

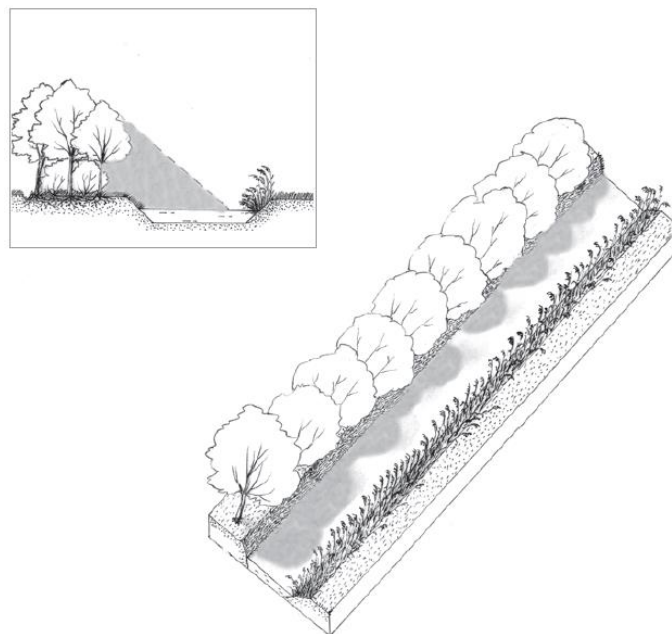


Figure 34 Scénario de gestion innovant (Consorzio di Bonifica Acque Risorgive)

La figure 34 montre l'effet de l'ombrage, donné par une rangée d'arbres placée uniquement d'un côté du canal, sur la diversification biologique dans le lit de la rivière et sur les rives. Si le canal est large, une seule rangée d'arbres, pourtant bien positionnée, peut ne pas être suffisante pour un contrôle total de la végétation dans le lit de la rivière, et par conséquent avoir des effets positifs, d'un point de vue biologique, en permettant la croissance de la végétation aquatique et marécageuse du côté non ombré.

Le but de cette thèse est d'apporter un soutien à la gestion de la végétation le long du réseau d'assainissement en fournissant des données utiles à la réalisation d'évaluations quantitatives. Grâce à l'équation de Nepf et à la méthode Colebatch, qui ont permis de déduire les coefficients de rugosité et les coefficients de rugosité équivalents, il a été possible de créer un modèle d'évaluation quantitative facilement applicable à près que tous les canaux d'assainissement, après un recensement des espèces herbacées présent.

Encore, la modélisation sur Hec-Ras a confirmé les expériences précédentes sur les canaux considérés, fournissant des modèles en cas d'écoulement permanents utilisable pour les bassins entiers. En utilisant ces outils, il sera possible d'obtenir des informations utiles pour entreprendre un type d'entretien optimal au cas par cas, qui sera choisi en fonction des caractéristiques intrinsèques (écologiques et hydrauliques) du canal lui-même.

Chaque canal devra avoir une sorte de carte d'identité des fonctions environnementales qu'il accomplit dans son domaine et des paramètres liés au risque hydraulique, tels que la dangerosité, la vulnérabilité et les éléments de risque. Cette approche intégrée permettra de choisir le type d'entretien, en optimisant l'équilibre entre impact environnemental et atténuation des risques hydrauliques. Par exemple, dans une zone rurale, les coefficients de calcul du risque hydraulique peuvent être considérés comme inférieurs à ceux d'une zone fortement urbanisée.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



5.4 Considérations Conclusives

Ce complexe expérimental composé de modélisations Excel et Hec – Ras veut soutenir la gestion future des canaux d'assainissement dans la municipalité de Versilia et Massa - Carrara.

Excel à été utilisé afin de trouver le coefficient de rugosité (n de Manning): la méthode Luhar & Nepf pour quantifier l'impact de la végétation sur la zone frontale de toute section de canal considérée, la méthode proposée par Colebatch, qui prend en compte l'aire et la vitesse associée aux sous-zones de chaque section, pour trouver le coefficient de rugosité équivalent, après avoir étudié l'effet de la végétation sur les sections trapézoïdales.

Pour la modélisation Hec-Ras en cas d'écoulement permanent, on a pris en compte les coefficients de rugosité des domaines considérés, déjà mentionnés parmi des études scientifiques par l'Université de Florence et ceux obtenus par les élaborations des données collectées dans cette étude.

Pour ce qui concerne la modélisation de la Fossa Maestra, du point de vue hydraulique, les résultats obtenus sont conformes aux études antérieures menées en supposant des conditions d'entretien intensif de la végétation.

C'est difficile, dans les conditions actuelles d'appliquer une gestion douce en raison de tracé du canal et des zones déprimées situées le long de sa rive. Contre l'hypothèse d'un élargissement de la grande base décrite dans cette thèse, il y a la présence d'infrastructures sur les rives du canal, qui ne permettent pas un reprofilage complet. Encore, de nombreuses sections du canal sont considérablement sous-dimensionnées, par conséquent il y a une forte diminution de la période de retour (moins d'un an) aussi en cas des débits relativement faibles.

Les hypothèses de choix de gestion évaluées dans ce document peuvent trouver leur applicabilité dans de nombreux canaux d'assainissement à condition que la possibilité concrète de créer des bandes destinées à la renaturation et la durabilité économique soient évaluée au cas par cas. La mise en œuvre d'une telle approche intégrée permettrait de résoudre les problèmes de qualité environnementale liés à l'entretien, contribuant également à réduire les coûts de gestion et à limiter le recours à la main d'œuvre suivant les machines ou destinée à effectuer manuellement l'entretien dans les sections le plus difficile. La réalisation de résultats satisfaisants sera déterminée par l'ampleur des investissements, mais aussi par la disponibilité des opérateurs qui travaillent quotidiennement sur les cours d'eaux d'accepter la nouveauté, en profitant des technologies acquises dans le secteur agricole, mais surtout des expériences et des observations obtenus dans le cadre de campagnes de recherche menées par la communauté scientifique.



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

RÉFÉRENCES

Baroni C., Bruschi G., Salvatore M.C., Alderighi L., Gentili R., **Errico A.**, Preti F., Pacciani A. 2019. “*Ricerche geomorfologiche applicate ai ravaneti del comune di Carrara*”, in particolare per la sezione inerente la realizzazione della “Carta dei ravaneti da sottoporre a tutela”

Bruschi G., Criscuolo A., Zanchetta G. (2003) – Stratigrafia delle discariche di detrito dei bacini marmiferi di Carrara. I ravaneti antichi di Carbonifera, Strinato, Gioia e Scalocchiella, *Acta apuana*, II, 25-32.

Comiti, F., A. Lucía, e D. Rickenmann. 2016. «Large wood recruitment and transport during large floods: A review». *Geomorphology* 269: 23–39. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.06.016>.

D’Amato Avanzi G., Falaschi F., Giannecchini R. & Puccinelli A. (2009) - Soil slip susceptibility assessment using mechanical–hydrological approach and GIS techniques: an application in the Apuan Alps (Italy). *Natural Hazards*, 50, 591-603.

D’Amato Avanzi G. & Verani M., (1998). Le valenze ambientali ed economiche dei ravaneti delle Alpi Apuane (Toscana, Italia). *Memorie Società Geologica Italiana*, 53: 489

D’Amato Avanzi G. (1999) - Landslides triggered by the intense rainstorm of June 19, 1996 in southern Apuan Alps (Tuscany, Italy). *Transaction Japanese Geomorphological Union*, 20-3: 203-218.

Errico, A., G.F.C. Lama, S. Francalanci, G.B. Chirico, L. Solari, e F. Preti. 2019. «Flow dynamics and turbulence patterns in a drainage channel colonized by common reed (*Phragmites australis*) under different scenarios of vegetation management». *Ecological Engineering* 133: 39–52. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.04.016>.

Errico, A., V. Pasquino, M. Maxwald, G.B. Chirico, L. Solari, e F. Preti. 2018. «The effect of flexible vegetation on flow in drainage channels: Estimation of roughness coefficients at the real scale». *Ecological Engineering* 120: 411–21. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.06.018>.

Ferrarini E. (1972) – Carta della vegetazione delle Alpi Apuane e zone limitrofe. Note illustrative, Webbia, XXVII, 551-582.

Ferrarini E., Alessandrini A. (1988) – Aspetti della flora e della vegetazione dell’Appennino settentrionale dal M. Maggiorasca alle Alpi Apuane e al M. Fumaiolo, *Accademia Lunigianese di Scienze «Giovanni Capellini», Sci. Mat. Fis. e Nat.*, LI-LIII (1981-83), 3-57.

Gentili (2008) Rilevamenti geomorfologico-vegetazionali nei bacini marmiferi di Carrara (Alpi Apuane, Toscana, Italia). Dato non pubblicato

Gentili, R., S. Sgorbati, e C. Baroni. 2011. «Plant Species Patterns and Restoration Perspectives in the Highly Disturbed Environment of the Carrara Marble Quarries (Apuan Alps, Italy)». *Restoration Ecology* 19 (SPEC.ISSUE): 32–42. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2010.00712.x>.

Giambastiani, Y., F. Preti, A. Errico, e L. Sani. 2017. «On the tree stability: Pulling tests and modelling to assess the root anchorage». *Procedia Environmental Science, Engineering and Management* 4 (4): 207–18.



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Gilardelli, F., S. Sgorbati, S. Armiraglio, S. Citterio, e R. Gentili. 2016. «Assigning plant communities to a successional phase: Time trends in abandoned limestone quarries». *Plant Biosystems* 150 (4): 799–808. <https://doi.org/10.1080/11263504.2015.1011722>.

Lama, G.F.C., A. Errico, S. Francalanci, L. Solari, F. Preti, e G.B. Chirico. 2020. «Evaluation of flow resistance models based on field experiments in a partly vegetated reclamation channel». *Geosciences (Switzerland)* 10 (2). <https://doi.org/10.3390/geosciences10020047>.

Lorenzoni, Sani, Grazzini A., Carta della vegetazione dell'area marmifera (Comunicazione personale)

Monaci et al., Manuale per la gestione ambientale dei corsi d'acqua a supporto per i Consorzi di Bonifica., Veneto Agricoltura, 2009

Preti, F., A. Dani, e F. Laio. 2010. «Root profile assessment by means of hydrological, pedological and above-ground vegetation information for bio-engineering purposes». *Ecological Engineering* 36 (3): 305–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.07.010>.

Rapetti F., Vittorini S. (1994) – Carta climatica della Toscana centro-settentrionale, CNR - Centro di studio per la geologia strutturale e dinamica dell'Appennino, Pisa, Pacini.