

PROJET MED-FORESTE

“Gestion des écosystèmes forestiers pour la réduction du risque incendies”

Produit T1.3.1 Manuel d'aide à la décision en matière de gestion des combustibles végétaux pour la prévention et la gestion du risque incendie



Regione Toscana

Auteurs

Dr. Cristiano Foderi	Université de Florence - Département DAGRI
Dr. Francesco Neri	Université de Florence - Département DAGRI
Dr. Niccolò Frassinelli	Université de Florence - Département DAGRI
Prof. Enrico Marchi	Université de Florence - Département DAGRI
Dr. Paolo Battelli	Unione dei Comuni Media Valle del Serchio
Dr. Marco Bagnoli	Organisation AIB Région Toscane
Dr.ssa Cecilia Cappelli	Associazione Nazionale Comuni Toscana
Dr.ssa Annalaura Vannuccini	Associazione Nazionale Comuni Toscana
Dr. Luigi Spandonari	Région Ligurie
Dr. Damiano Penco	Région Ligurie
Dr. Massimiliano Cardelli	Région Ligurie
Dr.ssa Carla Stradolini	Associazione Nazionale Comuni Liguria
Dr.ssa Antonella Massaiu	Office National des Forêt
Dr.ssa Orane Faletti	Office National des Forêt
Dr. Eric Serantoni	Parc National de Port-Cros
Dr.ssa Grazia Pellizzaro	Conseil national de la recherche - Institut de la bioéconomie
Dr.ssa Carla Scarpa	Conseil national de la recherche - Institut de la bioéconomie
Dr. Michele Salis	Conseil national de la recherche - Institut de la bioéconomie
Dr.ssa Liliana del Giudice	Conseil national de la recherche - Institut de la bioéconomie
Dr. Bachisio Arca	Conseil national de la recherche - Institut de la bioéconomie
Dr.ssa Valentina Bacciu	Conseil national de la recherche - Institut de la bioéconomie
Dr. Andrea Ventura	Conseil national de la recherche - Institut de la bioéconomie
Dr. Marcello Verdinelli	Conseil national de la recherche - Institut de la bioéconomie
Dr. Massimo D'Angelo	Agence régionale FoReSTAS - Sardegna Foreste
Dr.ssa Corinne Caddeo	Agence régionale FoReSTAS - Sardegna Foreste

Avec la collaboration de: Angelo Arca, Stefano Arrizza, Annalisa Canu, Marcello Casula, Leonarda Fadda, Roberto Ferrara, Pierpaolo Masia, Pierpaolo Zara (CNR-IBE), di Jean Noël Marcellesi, Muriel Tiger, Mathias Costanzo, Gilles Planelles, Michel Faure (ONF), Cristina Gambardella (ANCI Toscana).

INDEX

Auteurs	1
Introduction et contextualisation des interventions	5
Partie A	7
1. Définir les objectifs de la prévention des incendies	7
2. Présentation des techniques sylvicoles de réduction des risques d'incendie testées dans le cadre du projet	13
2.1 La technique du brûlage dirigé	13
2.2 Traitement mécanique des combustibles à l'aide d'équipements et de machines	14
2.3 Contrôle du combustible par le sylvopastoralisme	14
2.4 Association de techniques	15
3. Conditions d'applicabilité des techniques de réduction des risques d'incendie	16
3.1 De nature physique	16
3.2 En matière de réglementation et de procédures d'autorisation	16
4. Utilisation de simulateurs de propagation du feu lors de la conception d'interventions de réduction du combustible	17
4.1 Introduction	17
4.2 FlamMap - système de cartographie et d'analyse des incendies	17
4.3 Exemple d'utilisation du simulateur comme outil de soutien	19
5. Méthodologie de contrôle ex ante, in itinere, ex post	23
Partie B	25
1. Technique du brûlage dirigé	27
1.1 Toscane	27
1.1.1 Description de l'intervention mise en œuvre	27
1.1.2 Conditions d'application territoriale	28
1.1.3 Évaluation : efficacité par rapport à l'objectif de l'intervention, durée estimée ou mesurée, coûts réels par rapport aux coûts budgétés	29
1.1.4 Synthèse Analyse Swot par territoire et technique	32
2. Traitement mécanique du combustible	33
2.1. Toscane	33
2.1.1. Description de l'intervention mise en œuvre	33
2.1.2. Conditions d'application territoriale	34
2.1.3. Évaluation : efficacité par rapport à l'objectif de l'intervention, durée estimée ou mesurée, coûts réels par rapport aux coûts budgétés	35

2.1.4. Synthèse Analyse Swot par territoire et technique	37
2.2. Ligurie	38
2.2.1. Description de l'intervention mise en œuvre	38
2.2.2. Conditions d'application territoriale.....	40
2.2.3. Évaluation : efficacité par rapport à l'objectif de l'intervention, durée estimée ou mesurée, coûts réels par rapport aux coûts budgétés.....	41
2.2.4. Synthèse Analyse Swot par territoire et technique.....	45
2.3. Sardaigne.....	49
2.3.1. Description de l'intervention mise en œuvre	49
2.3.2. Conditions d'application territoriale.....	51
2.3.3. Évaluation : efficacité par rapport à l'objectif de l'intervention, durée estimée ou mesurée, coûts réels par rapport aux coûts budgétés.....	56
2.3.4. Synthèse Analyse Swot par territoire et technique	66
3. Sylvopastoralisme	67
3.1 Toscane.....	67
3.1.1 Description de l'intervention mise en œuvre	67
3.1.2. Conditions d'application territoriale.....	67
3.1.3 Évaluation : efficacité par rapport à l'objectif de l'intervention, durée estimée ou mesurée, coûts réels par rapport aux coûts budgétés.....	67
3.1.4 Synthèse Analyse Swot par territoire et technique.....	68
4. Combinaison de techniques.....	69
4.1 Toscane	69
4.1.2 Description de la combinaison de techniques éprouvées.....	69
4.1.3 Conditions d'application pour le territoire.....	69
4.1.4 Évaluation : efficacité par rapport à l'objectif de l'intervention, durée estimée ou détectée, coûts réels par rapport à ceux estimés.....	70
4.2. Corse.....	73
4.2.1. Description de l'association de techniques expérimentées.....	73
4.2.2. Conditions d'application pour le territoire.....	75
4.2.3. Évaluation : efficacité par rapport à l'objectif de l'intervention, durée estimée ou détectée, coûts réels par rapport à ceux estimés.....	78
4.2.4. Analyse Swot synthétique par territoire et technique.....	81
4.3. Région Sud-PACA	83
4.3.1. Description de l'intervention mise en œuvre	83
4.3.2. Conditions d'application par territoire.....	85

4.3.3. Évaluation : efficacité par rapport à l'objectif de l'intervention, durée estimée ou détectée, coûts réels par rapport à ceux estimés.....87

4.3.4. Analyse SWOT de la synthèse par territoire et par technique 91

Partie C92

1. Réflexions finales sur l'applicabilité, l'efficacité et la communication au public des techniques de réduction des risques d'incendie testées92

2. Réflexions sur les résultats de l'expérimentation d'un projet de coopération territoriale européenne sur la programmation régionale du Fonds européen agricole et de développement rural (FEADER).95

2.1 Les indicateurs socio-économiques envisagés par Med-Foreste et leur révision..... 95

2.2 Un cas concret de synergies entre le projet Med-Foreste et la nouvelle programmation du fonds FEADER..... 98

2.3 Capitalisation des résultats des projets MED pour la nouvelle programmation 2021-2027 des fonds généraux 99

2.4 Contribution possibles des projets Med à la programmation en cours, notamment dans le cadre des appels FEADER 2022 101

Fonds FEADER (Fonds pour le développement agricole régional)..... 101

Coordination des fonds FSE (Fonds social européen) et FEADER 102

Bibliographie.....103

Introduction et contextualisation des interventions

Ces dernières années, la superficie du territoire européen touchée par les incendies de forêt a augmenté et les conditions météorologiques extrêmes liées au changement climatique, qui contribuent à cette augmentation, provoquent le développement d'incendies de forêt qui parfois dépassent la capacité d'extinction des organisations de Défense des forêts contre les incendies (DFCI), causant des dommages importants non seulement aux écosystèmes forestiers, mais aussi aux biens et aux personnes. La mise en œuvre de mesures de réduction du combustible végétal, visant à accroître la résilience des écosystèmes forestiers méditerranéens et à prévenir ainsi les incendies de forêt, nécessite l'engagement de ressources et d'une expertise croissante. Les causes de l'augmentation des incendies de forêt sont multiples et interconnectées : changement climatique, abandon des activités agricoles et sylvopastorales, prolongement des périodes de sécheresse, pression anthropique et augmentation conséquente des zones d'interface habitat-forêt.

Pour les administrations publiques et les organismes compétents chargés des activités de prévention, il est donc essentiel de définir de manière capillaire les actions de prévention et de connaître la technique - ou la combinaison de techniques - la plus efficace et la plus appropriée pour leur territoire et en fonction des ressources disponibles, afin de lutter contre le phénomène des incendies de forêt, particulièrement répandu dans le bassin méditerranéen. Cette nécessité a guidé la mise en œuvre du projet MED-Foreste et la rédaction de ce manuel, qui représente le résultat d'un effort conjoint entre les universités, les centres de recherche, les organismes compétents et les administrations régionales et locales actives dans le domaine de la prévention des incendies de forêt, dont l'objectif est d'orienter les choix publics et d'améliorer la capacité des institutions à prévenir et à gérer le risque d'incendie de forêt par l'expérimentation, la mise en œuvre et la comparaison transfrontalière des interventions de prévention.

Dans le but de réduire le combustible végétal et d'en mesurer l'impact d'un point de vue environnemental, économique et réglementaire, les partenaires du projet ont d'abord identifié les zones à haut risque ou les plus fragiles situées dans les cinq régions appartenant au Programme Maritime Italie-France 14-20 (Toscane, Ligurie, Sardaigne, Région Sud Paca et Corse) et ont défini le type d'intervention le mieux adapté à chaque zone géographique sélectionnée (brûlage dirigé, sylvo-pastoralisme, interventions mécanisées, ou combinaison de plusieurs techniques).

Par la suite, un système de suivi unique a été défini et partagé pour être utilisé avant et après chaque intervention afin d'évaluer son efficacité. Ce système de suivi, développé par l'Université de Florence, a été conçu pour mesurer l'impact des activités de réduction du combustible végétal ex ante et ex post pendant quatre saisons de croissance suivant la réalisation de chaque intervention. Il faut partir du principe qu'avec la propagation du Covid-19 et le respect des restrictions de confinement de la pandémie, l'avancement des activités a été compromis et, dans certains cas, la mise en œuvre a été considérablement retardée, ce qui a eu un impact sur la collecte des données et la présentation des résultats, qui dans certains cas, appartiennent à une seule saison de croissance.

Néanmoins, toutes les expériences prévues ont été menées à terme et l'analyse et l'évaluation détaillées de chaque site peuvent fournir des informations utiles pour la conception de futures interventions, en

mettant en évidence les leçons apprises et les bonnes pratiques expérimentées pendant la phase de mise en œuvre.

Divisé en trois parties, le manuel présente une première partie théorique dans laquelle sont introduits certains concepts clés, tels que la sylviculture préventive ou le brûlage dirigé, le cadre méthodologique des interventions est expliqué et un outil efficace pendant la phase de conception des interventions est présenté : les simulateurs de propagation du feu testés en Sardaigne et en Corse par le CNR-IBE.

La deuxième partie résume les expérimentations de réduction des combustibles végétaux menées par les partenaires de 2019 à 2022, dans lesquelles le cadre opérationnel, réglementaire, environnemental et économique de chaque technique est mis en évidence en plus des forces et faiblesses au moyen de tableaux d'analyse.

La troisième partie concernant les réflexions finales sur l'applicabilité, l'efficacité et la communication au public des techniques testées, est accompagnée d'une analyse de la contribution et des orientations que les résultats du projet MED-Foreste peuvent offrir à la nouvelle programmation des fonds européens (FEADER et FSE).

Malgré l'important travail d'analyse comparative des expériences réalisées, il faut souligner que les résultats et les indications donnés dans ce manuel sont le fruit des expériences des partenaires et fournissent des lignes directrices qui ne peuvent remplacer l'analyse attentive du contexte et la nécessaire approche systémique qui doivent précéder la mise en œuvre de tout type d'intervention de prévention.

En outre, pour ceux qui souhaitent approfondir les questions de prévention des incendies de forêt, il est utile de préciser que ce manuel présente de profondes synergies avec le produit du projet stratégique MED-STAR "Lignes directrices et méthodologies partagées pour la prévention des incendies par des interventions sur le combustible", dans lequel sont analysés les principaux types d'interventions de prévention des incendies de forêt mises en œuvre dans les cinq régions du programme, le cadre juridique de chaque territoire est défini et les objectifs que ces travaux visent à atteindre sont précisés.

Partie A

(Partie théorique comme introduction à la description des expériences menées sur le terrain par Med Foreste)

1. Définir les objectifs de la prévention des incendies

En région méditerranéenne, le feu est un facteur écologique reconnu, déterminant de la dynamique de la végétation et parfois nécessaire à la pérennité des écosystèmes et à la conservation de la biodiversité. Cependant, l'aggravation du phénomène, en termes de fréquence et d'intensité des événements, et son origine majoritairement anthropique, en ont fait l'un des principaux facteurs de dégradation des peuplements forestiers (Bovio et al., 2014). Aujourd'hui encore, dans les pays méditerranéens, les incendies représentent l'une des principales causes de dégradation, voire de disparition de grandes zones forestières dans certaines situations. Malgré l'efficacité croissante des organisations de lutte contre les incendies dans différents pays, le phénomène continue donc de représenter une menace sérieuse pour les forêts, les infrastructures et la population. De plus en plus, de grands incendies se produisent, souvent simultanément et avec un comportement jusqu'alors inédit. Une multitude de facteurs contribuent à accroître la vulnérabilité des forêts aux incendies, et tous ces facteurs sont influencés par le changement global en cours (figure 1).

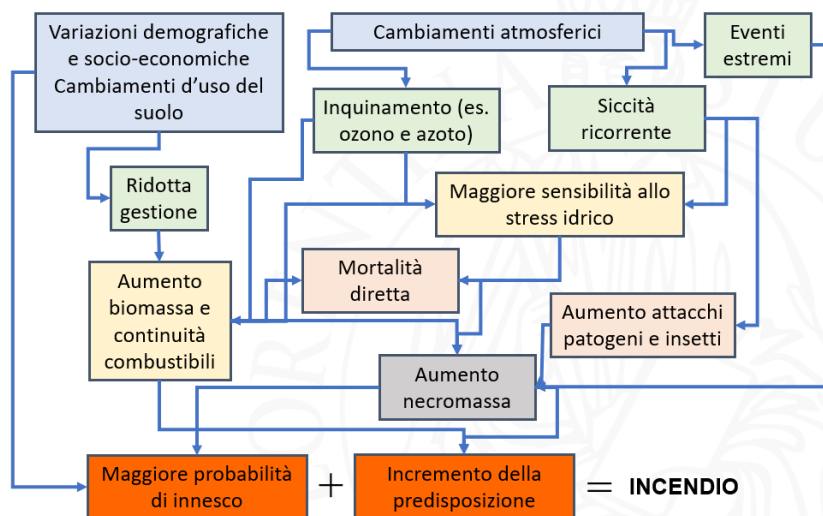


Figure 1 - Facteurs ayant contribué et contribuant à la vulnérabilité accrue des forêts aux incendies

La croissance et les flux démographiques, les changements socio-économiques et la modification du rapport de l'homme avec le territoire rural/forestier ont contribué à la fois à l'abandon de nombreuses zones rurales avec pour conséquence l'expansion naturelle des forêts sur les terres agricoles et les pâturages abandonnés (Agnolotti et al., 2006), et à la réduction des activités sylvicoles, avec une augmentation et une accumulation de la biomasse combustible (Mazzoleni et al. 2009, Cesti et al. 2012) et une plus grande sensibilité aux incendies.

En particulier, l'évolution des caractéristiques de la population dans les zones rurales et dans les "ceintures" autour des grands centres urbains revêt une grande importance, notamment pour l'expansion et la gestion des zones d'interface ville-forêt. Ces populations, qui utilisent les terres rurales principalement à des fins résidentielles, ont perdu la culture et la tradition agro-forestières et ne sont pas conscientes de l'importance de la gestion des terres pour la prévention des risques (incendies, inondations, instabilité hydrogéologique, etc.).

L'impact anthropique sur la composition de l'atmosphère favorise les sécheresses récurrentes (Rego et al. 2010), les événements extrêmes (par exemple, les tempêtes de vent, les inondations, les rafales descendantes, etc. Les concentrations de polluants (par exemple l'ozone, les composés azotés) ont des effets délétères sur le développement des systèmes racinaires et la capacité des plantes à maintenir leur équilibre hydrique (Bytnerowicz et al., 2007 ; Paoletti, 2005). Dans de telles situations de stress, il est également plus facile pour les agents pathogènes et les insectes de se développer et de se multiplier, ce qui contribue à l'accumulation de la nécromasse et à la sensibilité accrue des peuplements au feu (Grulke et al., 2009). La présence de ces polluants favorise également l'accumulation de litière en ralentissant la décomposition de la matière organique (Fenn et Dunn, 1989).

Ces circonstances, de mosaïque paysagère réduite et d'accumulation de biomasse et de nécromasse, ainsi que les conditions climatiques particulières qui se produisent dans la région méditerranéenne pendant l'été, déterminent une aggravation significative et progressive du phénomène des incendies de forêt, malgré le renforcement continu des structures de défense. Il est donc clair que nous sommes confrontés à un problème complexe et articulé, qui a de fortes conséquences écologiques, économiques et sociales et qui nécessite un changement d'approche. Pour une contre-action efficace, il est nécessaire de passer de politiques d'urgence basées principalement sur la lutte, à des politiques de prévention à long terme, qui éliminent les causes structurelles des incendies de forêt par une gestion adéquate des terres agro-forestières (Marchi, 2009). En ce sens, il est nécessaire d'intégrer la question des incendies à celle de la gestion forestière afin d'améliorer la structure végétale des milieux naturels et forestiers par des interventions culturelles à des fins de lutte contre les incendies. En appliquant cette approche, il est possible à la fois d'augmenter la résistance et la résilience des systèmes forestiers au passage du feu et de rendre les zones forestières moins sensibles et vulnérables à la propagation des incendies.

Les fondements théoriques des interventions de gestion du combustible forestier, qu'il s'agisse de réduire la charge ou de modifier l'organisation spatiale, s'inspirent des nombreuses relations qui interprètent le comportement du feu. Ces relations voient l'interaction entre le combustible, la morphologie du terrain (pente et exposition), les conditions météorologiques et climatiques (humidité relative, température, précipitations) et la charge, les caractéristiques et la distribution du combustible végétal. Comme il n'est pas possible d'intervenir sur les autres facteurs, la seule possibilité de réduire la susceptibilité à l'allumage et à la propagation du feu est d'intervenir sur le combustible afin de modifier l'intensité du front de flamme attendu et de réduire la probabilité que le feu de surface se transforme en feu de couronne, situation dans laquelle le feu se propage, essentiellement par l'action du vent, à travers la couronne des arbres. Ces traitements peuvent également avoir une incidence sur la possibilité pour le feu de couronne de passer de formes "plus simples" à des formes plus complexes et difficiles à contenir. La gestion sûre et efficace des incendies dans la plupart des écosystèmes forestiers dépend donc dans une large mesure de la capacité à évaluer ou à prédire de manière fiable le potentiel d'incendie des couronnes, sur la base d'aides à la prédiction combinées aux compétences et aux connaissances de l'opérateur.

Il est nécessaire de comprendre les principes généraux liés aux conditions environnementales nécessaires au déclenchement, à l'allumage et à la propagation des feux de couronne pour mettre en œuvre des programmes de gestion du combustible visant à atténuer la probabilité de grands feux de couronne de forte intensité.

Les principes généraux et les modèles de transition et de propagation des feux de couronne ont été développés par Van Wagner (1977, 1989). Pour évaluer la possibilité de passer d'un feu de surface à un feu de couronne, Van Wagner (1993) a introduit le concept d'intensité critique de surface (CSI, exprimée en kW m^{-1}); une valeur d'intensité de feu de surface requise pour le passage au feu de couronne, calculée sur la base de la hauteur de base de la canopée (CBH), exprimée en m, et de l'énergie requise pour enflammer les canopées, en fonction de leur teneur en humidité. La définition du CBH a été modifiée ultérieurement par Scott et Reinhardt (2001) pour devenir "la hauteur minimale au-dessus du sol à laquelle il y a suffisamment de combustible pour propager le feu verticalement dans la canopée". Ainsi, Scott et Reinhardt (2001) ont également choisi une valeur arbitraire de densité apparente du couvert (CBD) de $0,011 \text{ kg m}^{-3}$ comme base pour déterminer la CBH. La densité apparente de la canopée représente la biomasse présente dans une unité de volume de canopée et est une variable au niveau du peuplement. L'identification d'une valeur CBH "effective" est donc complexe, en particulier dans les peuplements forestiers présentant des distributions verticales de combustible très articulées.

Van Wagner (1993) introduit également deux autres paramètres pour décrire le comportement des feux de couronne : i) le taux de propagation critique pour une flamme de couronne solide, qui peut être déterminé par le rapport entre le flux de masse critique à travers la couche de couronne (exprimé en $\text{kg s}^{-1} \text{ m}^{-2}$) et la densité apparente de la canopée (kg m^{-3}). Le débit massique critique a été défini comme étant de $0,05 \text{ kg s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ (Agee et Skinner, 2005).

Lorsque le taux critique de propagation est dépassé, on passe d'un feu de couronne passif à un feu de couronne actif ; ii) le flux d'énergie critique. Il s'agit de la valeur critique minimale du flux d'énergie horizontal direct à travers la couche de canopée qui serait nécessaire pour entretenir le feu de canopée sans l'aide d'un feu de surface sous-jacent. Il s'agit de la valeur minimale du flux d'énergie critique, progressant horizontalement à travers la couche de canopée, qui serait nécessaire pour entretenir le feu de canopée sans l'aide de l'énergie d'un feu de surface sous-jacent.

Sur la base de ces concepts généraux sur la propagation des feux de couronne, des principes généraux de gestion forestière préventive ont été définis (Agee et Skinner, 2005) (Tab. 1)

Action	Effet	Avantages	Problèmes connexes
Réduction du combustible en surface	Réduction de l'intensité et de la longueur de la flamme	Contrôle plus facile, probabilité réduite de passage à travers la canopée	Meilleur brûlage dirigé que les autres techniques
Augmenter la hauteur d'insertion de la couronne	Une intensité plus élevée du front de pâturage est nécessaire pour le passage de la canopée.	Réduction de la probabilité de passage dans la canopée	Perméabilité accrue au vent (séchage du combustible - intensité de la flamme)
Réduction de la densité des couronnes	Plus grande difficulté à se déplacer d'une canopée à l'autre	Réduire le potentiel énergétique des feux de couronne	Altération du microclimat sous les auvents, augmentation de la lumière, du vent, etc.
Laissez les grands arbres d'espèces résistantes au feu	Une mortalité plus faible à la même intensité de flamme	Augmentation de la résistance du support	Nécessite l'évaluation d'autres aspects sylvicoles

Tableau 1 - Actions possibles de gestion du combustible et principaux effets (d'après Agee et Skinner, 2005, modifié)

De nombreuses études ont mis en évidence l'efficacité de ces traitements dans la prévention des feux de forêt (Agee et Skinner, 2005; Keyes 1996; Scott 1998; Stephens 1998; Stephens et Moghaddas, 2005; Van Wagtendonk 1996 ; Pollet et omi, 2002 ; Omi et Martison, 2002, 2004 ; Raymond et Peterson 2005; Silva et al., 1999; Agee et Lolley, 2006) dans différentes situations et contextes. Cependant, il est nécessaire de prendre en compte la complexité des processus impliqués dans l'utilisation des méthodes sylvicoles de gestion des combustibles forestiers afin de modifier le comportement potentiel du feu. Dans ce sens, Keyes et Varner (2006) ont mis en évidence les pièges possibles du traitement sylvicole des combustibles, avec une référence particulière aux aspects suivants :

1. Translocation des charges combustibles : à moins que les résidus d'utilisation ne soient enlevés, les interventions sylvicoles transfèrent les combustibles vivants de la canopée au sol sous forme de nécromasse. Dans ce cas, l'intervention transforme un combustible vivant à forte teneur en humidité en un combustible mort à teneur en humidité beaucoup plus faible et plus inflammable ;
2. Réduction du tassement de la litière : les résidus générés par les interventions sylvicoles entraînent une réduction temporaire du tassement de la litière. À charge combustible égale,

- une litière moins compacte favorise la propagation du feu en raison d'une plus grande perméabilité à l'air ;
3. Une disponibilité accrue de combustible : une réduction excessive de la densité de la canopée peut affecter directement le microclimat et l'état du sol. La réduction de la couverture de la canopée par l'éclaircissement facilite le séchage des combustibles morts en surface. Cela est dû à l'augmentation de la lumière, de la température et à l'accroissement du mouvement et de l'échange d'air. Un taux d'humidité plus faible du combustible au sol permet de disposer de plus de combustible en cas d'incendie ;
 4. Augmentation de la pénétration du vent sous la canopée : dans les canopées fermées et continues, les vents sont considérablement amortis par rapport aux conditions environnementales en dehors de la forêt. Cette relation entre la structure du peuplement et les vents a été reconnue au niveau opérationnel dans l'application de facteurs de régulation de la vitesse du vent à mi-flamme basés sur la position de la pente et les facteurs structurels. Les interventions sylvicoles exposent l'environnement du sous-étage à une pénétration et à une turbulence accrues du vent, ce qui entraîne une augmentation de la vitesse du vent au milieu de la flamme, une augmentation de la vitesse de propagation et un comportement potentiellement plus erratique du feu.
 5. Réduire l'humidité de la litière : l'humidité de la litière est régulée en partie par l'ombre des couronnes et le vent. L'éclaircissement augmente la lumière du soleil et le vent sur le sol. La litière retient moins l'humidité, ce qui augmente la probabilité d'inflammation et la durée de la combustion. La consommation de la couche de litière a été liée à la forte mortalité du peuplement résiduel dans de nombreuses forêts éclaircies ;
 6. Prolifération des pousses de souche : la charge combustible vivante au niveau du sol peut augmenter considérablement lorsque des espèces d'arbres et d'arbustes à feuilles larges repoussent après que la tige principale a été endommagée ou coupée. À moins de procéder à des brûlages dirigés ultérieurs, les éclaircies de feuillus peuvent transférer les combustibles vivants de la couche de la couronne au niveau du sol, en particulier si le degré d'éclaircie crée des conditions microclimatiques favorables à la repousse des souches. De cette façon, ce complexe de combustibles vivants fins se mélange aux combustibles morts, ce qui entraîne une plus grande intensité du feu couvant ;
 7. Croissance de la végétation herbacée, arbustive et de régénération : les traitements du combustible s'accompagnent normalement de la croissance d'espèces arbustives et herbacées et de la régénération des arbres sur une période plus ou moins longue. Les interventions, si elles ne sont pas réalisées correctement pour les conditions de la station, peuvent conduire à un effet de lutte contre l'incendie de courte, voire très courte durée ;
 8. Interruption du processus de réduction de la profondeur de la couronne (auto-éclaircie) : dans les peuplements denses à couronne continue, l'augmentation de la hauteur de base de la

la couronne se produit par la dessiccation naturelle des branches inférieures. L'éclaircissement augmente la qualité et la quantité de lumière disponible pour les branches inférieures de la couronne des arbres et prolonge ainsi leur persistance. À moins qu'une taille artificielle ne soit effectuée pour augmenter la hauteur de base de la couronne, celle-ci reste constante jusqu'à ce que la fermeture de la couronne se produise à nouveau et que le processus de récession de la couronne recommence. Comme elles favorisent des conditions qui, simultanément, arrêtent la récession du houppier et accélèrent la croissance des combustibles en écaïlles, les éclaircies fortes accélèrent dangereusement la continuité verticale des combustibles.

Sur la base de ce qui précède, il est clair que la gestion du combustible forestier pour la prévention des incendies de forêt est d'une importance majeure pour lutter efficacement contre ce grave phénomène. Il est également clair que les principes de la gestion des combustibles et les nombreuses expériences acquises à cet égard constituent un corpus de connaissances important et utile. Ces connaissances ont été appliquées efficacement dans le développement du projet MED-Foreste. La pertinence de ce projet ne réside pas seulement dans l'application de traitements de gestion du combustible dans des zones pilotes, mais aussi dans le fait de fournir aux techniciens et aux chercheurs d'autres domaines d'étude pour améliorer les connaissances sur cette importante question afin d'optimiser les interventions et les ressources et d'éviter de tomber dans l'un des nombreux pièges qui peuvent accompagner ces importantes activités.

2. Présentation des techniques sylvicoles de réduction des risques d'incendie testées dans le cadre du projet

2.1 La technique du brûlage dirigé

Le brûlage dirigé est une technique consistant à appliquer consciemment le feu, par le biais de procédures opérationnelles spécifiques, dans des fenêtres météorologiques et environnementales précises, afin de générer, sur des zones limitées, un front de flammes dont le comportement permet d'atteindre des objectifs de gestion spécifiques (Fisher 1978, FAO 2006).

Les "prescriptions" constituent l'élément clé de la technique d'application consciente du feu, c'est-à-dire toutes les indications de conception relatives à la saison et à la fréquence de l'intervention, aux fenêtres environnementales dans lesquelles opérer (par exemple, l'humidité de la litière, l'humidité et la température de l'air ; la vitesse et la direction du vent ; l'humidité du combustible) et aux techniques d'allumage à adopter, afin de conduire un front de flamme avec un comportement d'intensité et de vitesse de propagation prévu, pour obtenir des effets spécifiques, notamment sur la végétation. Toutes les applications de brûlage dirigé doivent être planifiées et conçues afin d'identifier le moment le plus approprié pour la mise en œuvre, en fonction des paramètres suivants :

- (a) intensité linéaire ;
- (b) l'humidité relative de l'air ;
- (c) la température de l'air ;
- (d) la pente du terrain ;
- (e) l'humidité des combustibles fins morts ;
- (f) le nombre de jours écoulés depuis la dernière pluie ;
- (g) l'identification du modèle de combustible ;
- (h) la quantité de combustible à enlever ;
- (i) la stratification initiale et finale du combustible ;
- (j) la vitesse contrôlée de propagation du feu ;
- (k) la technique d'allumage à appliquer ;
- (l) l'évaluation et la planification des émissions de fumée ;
- (m) l'évaluation et le contrôle des sauts de feu éventuels.

Les objectifs les plus courants vont de la réduction du combustible dans le cadre de la prévention des incendies de forêt (Pyne et al. 1996) à la conservation des habitats où le passage périodique du feu est un facteur écologique important (Bond et van Wilgen 1996). Il s'ensuit que les prescriptions ne peuvent pas être univoques, mais doivent varier en fonction des objectifs du projet : pour chaque objectif, qu'il s'agisse de la prévention des incendies, de la gestion des ressources pastorales ou de la conservation de l'habitat, il faut déterminer un traitement spécifique par brûlage dirigés, en définissant les paramètres de prescription après une analyse minutieuse des relations entre les caractéristiques du combustible, le comportement du feu et les effets qui en découlent sur l'écosystème.

2.2 Traitement mécanique des combustibles à l'aide d'équipements et de machines

La gestion des combustibles entraîne des modifications de la charge et de la structure spatiale des matériaux vivants et morts par le biais d'une série d'options, dont des interventions de gestion typiquement sylvicoles.

Les coupes et éclaircies sont des interventions visant principalement à réduire la densité des peuplements. Le type d'éclaircie et le pourcentage de plantes enlevées affectent la distribution verticale et la quantité de combustible, générant ainsi différents effets sur le comportement et la propagation du feu. Par exemple, l'éclaircissement par le bas tend à augmenter la hauteur d'insertion de la couronne, ce qui rend moins probable la transformation des feux de surface en feux de couronne (Agee et Skinner, 2005). Bien que le report des éclaircies soit la tendance la plus courante, dans le but d'abattre les arbres plus proches de la maturité tout en augmentant les revenus, les éclaircies dans les jeunes peuplements sont importantes dans les contextes à haut risque d'incendie (Corona et al., 2015). L'élimination des arbres secs ou en décomposition entraînera une réduction globale de l'énergie thermique potentielle des combustibles forestiers restants. Enfin, l'éclaircie, en réduisant la compétition pour les ressources entre les arbres libérés, permet d'obtenir des tiges plus stables avec une croissance diamétrale plus importante (Marziliano et al., 2014) et une écorce plus épaisse (Leone et Lovreglio, 2005), ce qui signifie une plus grande résistance aux feux de moyenne et faible intensité.

Le défrichage et le débroussaillage, réalisés avec des équipements manuels ou avec des équipements dédiés installés sur des tracteurs agricoles ou forestiers, sont des interventions fondamentales pour atténuer les impacts des feux de surface, en éloignant les combustibles de surface des couronnes et en créant des discontinuités horizontales.

L'élagage, élagage effectué généralement dans les 2 premiers mètres (Piussi, 2015) et rarement au-delà, a également pour but de créer une discontinuité verticale et de rendre moins probable le passage du feu dans les couronnes situées au-dessus.

2.3 Contrôle du combustible par le sylvopastoralisme

Dans les pays méditerranéens, le pâturage est encore généralement perçu négativement en raison du surpâturage intensif qui, avec les incendies, est la principale cause de la dégradation des sols et de la désertification (Lovreglio et al., 2014). Malgré cela, le pâturage, et en particulier celui des chèvres et des ânes, doit être considéré comme un outil valable et écologique pour créer une discontinuité dans le combustible herbacé et arbustif. L'expérience du pâturage dirigé est relativement récente et renvoie aux premières expériences françaises d'entretien des pare-feux dans le Gard (Lovreglio et al., 2014). Plusieurs études ont proposé l'utilisation de troupeaux de chèvres, afin de transformer des combustibles grossiers non appétissants pour d'autres espèces en protéines nobles (viande, mais surtout lait), améliorant ainsi les économies rurales et la gestion des zones à risque d'abandon. Le pâturage peut également accroître l'efficacité de certains traitements tels que le défrichage, en contribuant à maintenir le volume des espèces arbustives. L'utilisation des troupeaux est possible au moyen de clôtures mobiles électrifiées,

alimentées par des batteries solaires, programmant de manière appropriée la densité, la largeur de la clôture et la durée du pâturage en fonction des espèces végétales à réduire ou à contenir.

2.4 Association de techniques

La possibilité de combiner différentes techniques, même si elle tend à être plus coûteuse économiquement, réussit souvent à assurer une plus grande efficacité des interventions en termes de temps. Dans le cadre des expériences, on a testé des combinaisons de techniques de réduction du combustible par l'utilisation d'équipements et de machines et le pâturage subséquent, l'utilisation de brulage dirigés en combinaison avec un traitement mécanique préalable du combustible et le pâturage subséquent. Toutes les combinaisons de techniques ont été contrôlées afin de pouvoir évaluer leur efficacité à court terme. Un suivi à long terme est certainement souhaitable, au cours des 4 à 5 années suivantes, afin de pouvoir évaluer l'évolution des systèmes naturels, en particulier sur toutes les zones où le pâturage dirigé a été appliqué, où l'effet du pâturage et la minéralisation ultérieure des substances végétales ont un effet sélectif sur les espèces herbacées et arbustives, un effet qui dure plusieurs années et dont il n'est pas possible de faire une évaluation globale sans une surveillance continue et prolongée.

3. Conditions d'applicabilité des techniques de réduction des risques d'incendie

3.1 De nature physique

Du point de vue des conditions physiques d'applicabilité, les techniques envisagées et testées ont des limites très différentes. La technique des brûlages dirigés est probablement celle dont les conditions sont les plus strictes. En fait, pour une exécution correcte, il faut une série de conditions, d'un point de vue météorologique, qui sont bien définies dans la phase de conception. La combinaison de la température, de l'humidité atmosphérique, de la vitesse du vent et de la distance temporelle par rapport à la dernière précipitation prescrite dans la conception entraîne la nécessité de surveiller constamment les informations provenant des stations météorologiques, à proximité de la zone à traiter, afin d'identifier la fenêtre temporelle optimale pour l'exécution.

En revanche, le traitement mécanique de réduction du combustible est la technique la plus polyvalente, dont l'applicabilité n'est limitée que par l'accessibilité des zones à traiter. Cette accessibilité impose également le choix des équipements ou des machines qui peuvent être utilisés, allant des équipements manuels ou portés sur le dos (tronçonneuses et débroussailluses, dans la plupart des cas) dans les situations difficiles d'accès ou très pentues, à l'utilisation de tracteurs forestiers équipés d'équipements dédiés (par exemple des faucheuses à fléaux ou des têtes d'abattage) dans des conditions moins pentues et desservies par des routes.

Le pâturage est généralement toujours applicable, la seule limite étant la disponibilité des animaux et des bergers/conducteurs à proximité des zones à traiter. En outre, un soin particulier doit être apporté au choix des animaux à faire paître, en fonction des effets à obtenir.

3.2 En matière de réglementation et de procédures d'autorisation

Tant du point de vue réglementaire que des procédures d'autorisation, les territoires du partenariat sont particulièrement hétérogènes. L'expérimentation a porté sur des zones caractérisées par différents types de contraintes, liées aux zones protégées, à la protection du paysage, à la présence de parcs et de réserves naturelles. Celle-ci a été conçue dans le but de fournir des exemples d'expériences d'interventions dans des zones aux contraintes particulières et aux procédures d'autorisation spécifiques. Compte tenu de la variété complexe des cas, un paragraphe spécifique pour chaque type de traitement et pour chaque zone individuelle a été inclus dans le traitement de la deuxième partie du manuel.

4. Utilisation de simulateurs de propagation du feu lors de la conception d'interventions de réduction du combustible

4.1 Introduction

Le comportement des incendies de forêt dépend d'interactions complexes entre les facteurs environnementaux (tels que les caractéristiques de la végétation, les conditions météorologiques et la topographie) et le facteur humain, qui influence à la fois les causes d'allumage et les actions de lutte et de combat.

Sans tenir compte du facteur humain, les interactions entre la topographie, les conditions météorologiques, l'état des eaux et les caractéristiques de combustibilité du matériel végétal (charge, taille des particules, rapport nécromasse/biomasse, etc.) ainsi que sa répartition spatiale dans les dimensions verticales et horizontales, déterminent dans une large mesure les caractéristiques d'un incendie (telles que l'intensité du feu, la vitesse de propagation, la hauteur des flammes, etc.).

Une estimation précise du comportement potentiel d'un incendie, dans une zone donnée et dans des conditions météorologiques particulières, est d'une grande importance, à la fois parce qu'elle permet d'évaluer dans quelles conditions le feu pourrait dépasser les capacités d'extinction des opérateurs et des moyens engagés dans les opérations de lutte contre l'incendie, et parce qu'elle constitue une information de base essentielle pour guider les choix de planification, d'atténuation et d'adaptation dans les zones exposées aux incendies.

Au cours des deux décennies qui ont précédé l'an 2000, divers modèles de calcul ont été développés pour estimer les caractéristiques du comportement des feux de forêt et pour simuler leur propagation. En bref, les simulateurs sont des applications logicielles qui, par le biais d'une série de règles, d'algorithmes et d'équations mathématiques, tentent de prédire, dans une zone donnée, dans certaines conditions météorologiques et avec certains types de végétation, quelles pourraient être les caractéristiques d'un incendie et comment elles se propagent dans l'espace et dans le temps.

Un état de l'art actualisé des modèles utilisés dans les différents territoires de la zone du programme IT-FR maritime et des modèles directement développés par certains partenaires du projet Interreg IT-FR MED-Star est disponible dans les produits T2.2.1, T2.2.2 et T2.2.4 du projet MED-Star (Produit MED-Star T2.2.1, 2022 ; Produit MED-Star T2.2.2, 2022 ; Produit MED-Star T2.2.4, 2022).

En se référant à la littérature spécifique pour une étude plus approfondie des caractéristiques et des formulations des différentes applications de modélisation, les paragraphes suivants présenteront le système d'analyse et de cartographie des incendies FlamMap (Finney, 2006), qui a été utilisé pour réaliser les activités dans le cadre du projet Med-Foreste, et décriront brièvement un exemple de la façon dont cet outil peut être utilisé comme une aide à la décision utile dans la phase de conception et de planification des interventions de réduction du combustible.

4.2 FlamMap - système de cartographie et d'analyse des incendies

Le système d'analyse et de cartographie des incendies FlamMap (Finney, 2006) est une application de bureau téléchargeable gratuitement et fonctionnant dans un environnement Windows pour analyser et

cartographier le comportement des incendies. Il a été développé par le service forestier américain où il est utilisé comme outil d'aide à la décision pour la planification des activités de gestion des incendies. Le choix d'utiliser le programme FlamMap comme simulateur de la propagation des incendies pour le projet Med-Foreste se justifie pour deux raisons. La première raison réside dans le fait que le paquet est entièrement gratuit et qu'il peut être facilement téléchargé, avec diverses documentations spécifiques, sur le site web du Service forestier (<https://firelab.org/project/flammap>). Le deuxième ordre de raisons est lié au fait que, surtout ces dernières années, diverses recherches et expériences ont été menées sur l'utilisation de ce programme afin de tester son potentiel opérationnel comme aide à la décision pour la planification des activités visant à la gestion et à la prévention des incendies de forêt dans l'environnement méditerranéen, également en ce qui concerne les interventions sur le combustible. En résumé, on peut donc considérer qu'il s'agit d'un outil testé positivement et donc suffisamment mature pour être utilisé commodément à des fins opérationnelles dans l'environnement méditerranéen également.

Le programme nécessite une série d'entrées, géo-spatialisées en couches d'information et organisées dans un fichier paysage, relatives à la topographie (orographie, pente, exposition) et à la végétation (modèles de combustible Fire Behavior, couverture des arbres, hauteur de la couronne, hauteur du premier étage, masse volumique de la couronne) (Figure 2). À ces couches doivent ensuite être ajoutées des informations sur les conditions météorologiques dans lesquelles les simulations doivent être effectuées et les coordonnées des points d'ignition à partir desquels les incendies simulés doivent être déclenchés.

Ainsi, selon le mode d'application choisi, le programme simule, pour chaque point de grille du territoire, le comportement potentiel du feu et renvoie une série de résultats tels que des cartes des caractéristiques potentielles du feu, comme la vitesse de propagation (m min^{-1}), l'intensité du front de feu (kW m^{-1}), la hauteur de la flamme (m), l'activité du feu de couronne (indice de 0 à 3) et la probabilité de brûlage, c'est-à-dire la probabilité que différentes zones d'une région soient touchées par un feu.

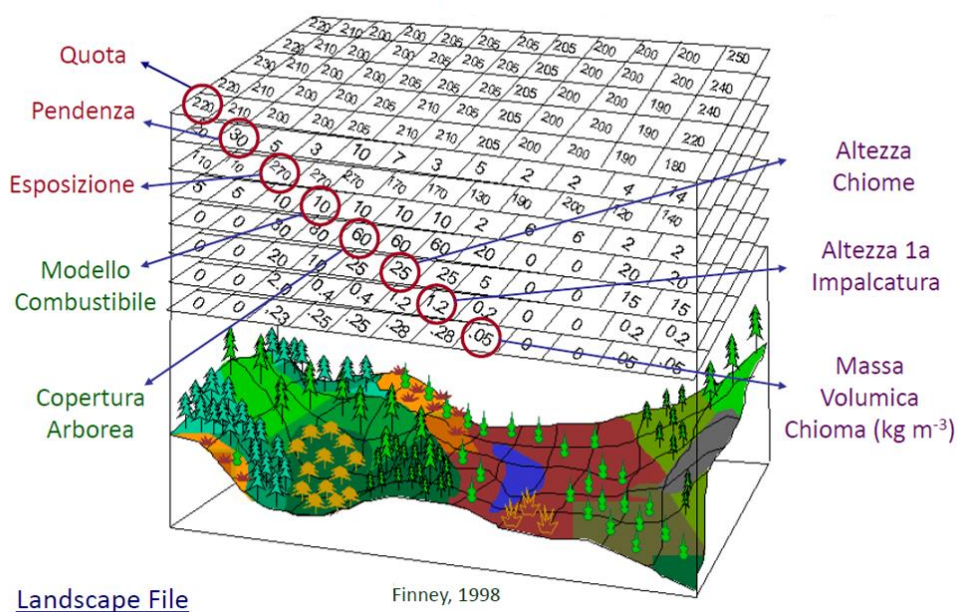


Figure 2 Intrants requis pour l'application de FlamMap (Tiré de Finney, 2006)

4.3 Exemple d'utilisation du simulateur comme outil de soutien

La figure 3 présente un schéma des étapes à suivre lors de l'utilisation du simulateur afin d'évaluer de manière préliminaire l'efficacité des traitements du combustible. En bref, le simulateur est utilisé en deux étapes successives. La première simulation est réalisée en l'absence de tout type de traitement afin d'évaluer quelles sont les zones, au sein des zones d'intérêt particulier (soit parce qu'elles ont une grande valeur, soit parce qu'elles sont caractérisées par une forte présence anthropique), qui sont plus exposées au risque. La seconde simulation est réalisée en supposant que les traitements ont été effectués afin d'évaluer leur efficacité, ce qui, dans ce cas d'étude, se traduirait par une diminution drastique de la probabilité d'apparition de feux de couronne dans les zones à protéger.

En Sardaigne, la zone pilote sur laquelle utiliser le simulateur pour tester l'efficacité des traitements préventifs sur le combustible a été identifiée dans le territoire du parc naturel régional de Porto Conte. Le choix de cette zone comme priorité pour la mise en œuvre d'actions d'atténuation des risques a été dicté non seulement par sa grande valeur naturaliste et paysagère, mais aussi par le grand nombre de visiteurs et de touristes qui utilisent les différents chemins et pistes cyclables à la fois pour la randonnée et pour rejoindre les plages et les criques pendant la saison des risques d'incendie (figure 4). En outre, l'état de la végétation présente, qui consiste en plusieurs zones de pinèdes côtières qui n'ont pas été gérées depuis de nombreuses années, est caractérisé par une continuité verticale et horizontale prononcée et des charges combustibles élevées qui rendent plus probable l'évolution d'un feu couvant en un feu de couronne et donc un incendie beaucoup plus intense et extrêmement compliqué à contenir et à éteindre.

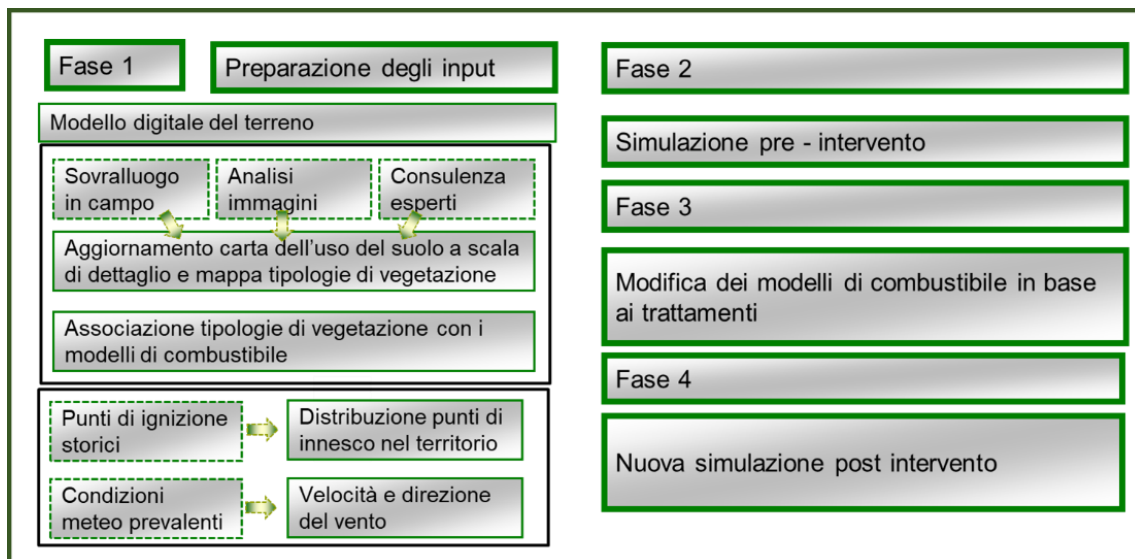


Figure 3 Étapes à suivre pour appliquer les simulateurs de propagation

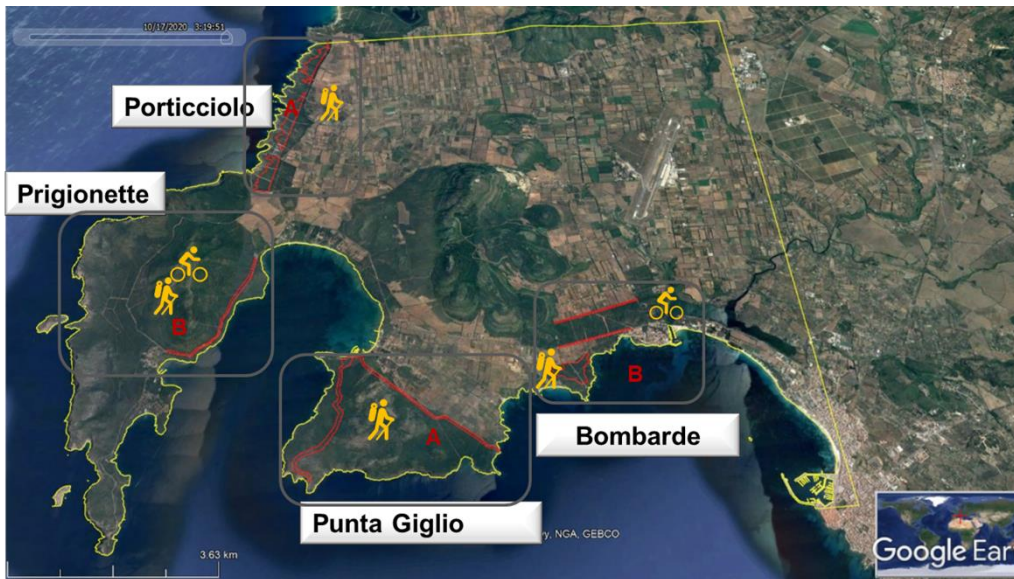


Figure 4 Sites sélectionnés comme prioritaires pour la réduction des risques d'incendie

La mise en œuvre de mesures de prévention dans des situations comme celle-ci ne se justifie pas tant par la nécessité de réduire à zéro la probabilité d'un départ de feu, mais par le fait que, compte tenu de la grande valeur naturaliste de la zone et du grand nombre de personnes qui y vivent pendant la période estivale, même un seul incendie aux caractéristiques extrêmes pourrait avoir des répercussions dramatiques. En d'autres termes, il ne faut pas laisser un foyer se transformer en feu de forêt. L'objectif des mesures prévues ne sera donc pas de réduire à zéro la probabilité d'inflammation, mais d'éviter qu'un incendie ne se développe en un feu de couronne difficile à maîtriser et à éteindre, notamment à proximité de chemins et de pistes cyclables fréquentés quotidiennement par des visiteurs et des touristes. En revanche, un feu de surface de faible intensité, et donc facilement contrôlable, serait acceptable.

La simulation effectuée sur le terrain avant la mise en œuvre des traitements du combustible a produit plusieurs cartes. La figure 5 montre la carte de la probabilité d'apparition d'un feu de couronne. Comme on peut le voir, le modèle indique que les zones considérées comme prioritaires à protéger sont des zones particulièrement sujettes à l'apparition d'un feu de couronne. Dans cette première phase, grâce à l'application des modèles de propagation, il a donc été possible d'identifier et/ou de confirmer quelles zones pourraient être des zones à protéger car elles sont potentiellement exposées à l'apparition d'incendies difficiles à contrôler et à éteindre.

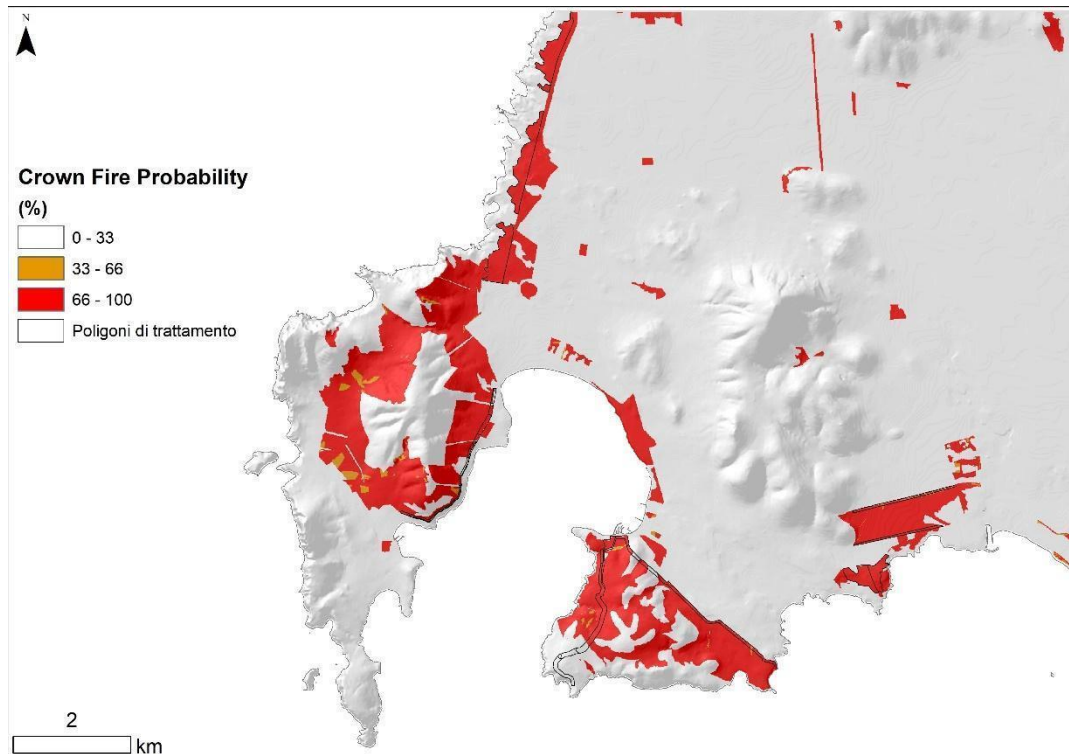


Figure 5 : Carte de la probabilité de feu de couronne produite par le simulateur dans la zone pilote du parc de Porto Conte dans la situation précédant les interventions de réduction du combustible.

Une fois confirmée la forte probabilité d'apparition de feux de couronne dans les zones concernées, les experts forestiers chargés de la gestion des forêts du parc ont identifié les portions de territoire où effectuer les traitements. En général, on a émis l'hypothèse d'interventions d'éclaircissement, de réduction de la continuité verticale et de continuité horizontale, surtout à proximité des zones où il y a des coupe-feu ou des chemins et des pistes ouverts aux visiteurs.

La figure 6 montre la carte des différences de probabilité de feu de couronne entre les résultats obtenus à partir des deux simulations effectuées avant et après les interventions sur le combustible forestier. Il est possible de voir comment ce paramètre a clairement diminué dans les zones de Porticciolo et de Bombarde. Dans les deux autres zones (Prigionette et Punta Giglio), on observe une nette réduction dans les zones proches des bandes et des chemins où les traitements étaient prévus. L'effet des traitements en général diminue à mesure que la distance des zones traitées augmente. Pour une plus grande couverture, il serait probablement nécessaire d'étendre les zones sur lesquelles intervenir.

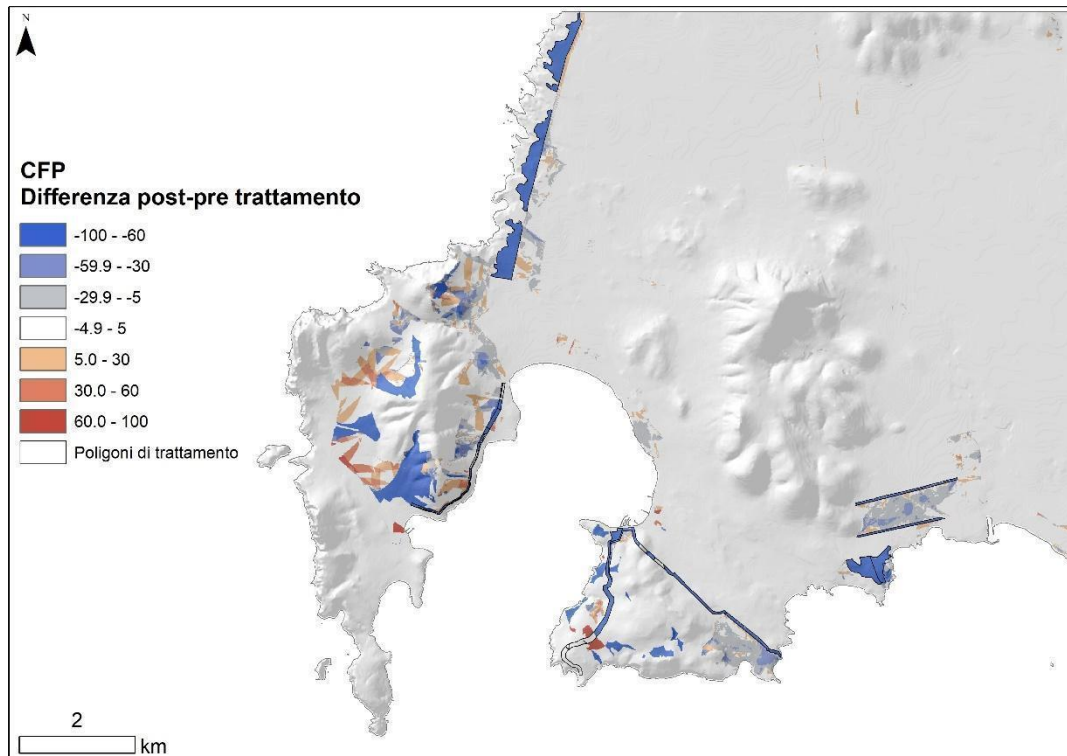


Figure 6 : Carte des différences entre les valeurs avant et après traitement de la probabilité de feu de couronne, produites par le simulateur dans la zone pilote du parc de Porto Conte. En noir, les zones affectées par les interventions de réduction du combustible

Dans l'ensemble, nous pouvons dire que les interventions conçues dans la zone du parc de Porto Conte ont atteint une bonne efficacité principalement dans les zones adjacentes aux sites traités. Afin d'obtenir la même efficacité sur de plus grandes portions du territoire, les résultats des simulations suggèrent d'étendre les zones sur lesquelles effectuer les traitements.

De l'analyse des résultats obtenus avec l'utilisation de simulateurs dans les zones pilotes du projet Med-Foreste (décrits plus en détail en annexe), on peut conclure que les simulateurs de propagation peuvent fournir une aide objective pour :

- l'identification des zones particulièrement critiques où des actions d'atténuation des risques doivent être menées ;
- tester l'efficacité des mesures de prévention prévues et, si nécessaire, en modifier l'étendue et les modalités si les effets escomptés ne sont pas atteints ;
- tester l'effet des différentes manières de réaliser les traitements de réduction du combustible afin d'orienter les choix vers les plus rentables.

En résumé, l'utilisation de simulateurs peut donc être un outil opérationnel utile pour soutenir les décideurs (administrateurs et techniciens locaux) dans la prévention des incendies de forêt et l'atténuation des risques.

5. Méthodologie de contrôle ex ante, in itinere, ex post

Le suivi des effets des interventions de gestion du combustible est un aspect essentiel de l'évaluation, à différentes échelles de temps, de la réponse des systèmes naturels auxquels elles sont appliquées.

A court et moyen terme, dans un délai de quelques semaines à plusieurs mois après l'application des traitements, le suivi est indispensable pour évaluer la réalisation des changements structurels et pondéraux des combustibles, qui sont le but des interventions. C'est-à-dire déterminer dans quelle mesure les objectifs spécifiques de l'intervention ont été atteints. En outre, l'évaluation à court et moyen terme permet de recueillir des informations utiles pour améliorer l'application des techniques dans des conditions similaires.

L'évaluation à long terme, quant à elle, vise spécifiquement à évaluer les implications de gestion, écologiques et sociales générées par l'application des traitements.

À ces fins, une méthodologie rapide, décrite ci-dessous, a été développée pour surveiller les caractéristiques des combustibles dans les zones traitées par des interventions de réduction des risques d'incendie.

Afin d'encadrer la station, des informations concernant la forme de gouvernement, le degré de fertilité de la zone, les espèces dominantes et la présence de régénération doivent être rapportées.

Il est nécessaire de localiser un point, dont les coordonnées GPS seront marquées ; ce point correspondra au centre de la zone de test de départ ©. En même temps que l'enregistrement des données de localisation, un piquet en acier sera enfoncé dans le sol afin de faciliter le repérage de la zone lors des enquêtes ultérieures.

A partir du point central, on tracera une zone circulaire © de 15 m de rayon et, en cas d'impossibilité, de rayon d'une longueur choisie par le géomètre (minimum 10 m) à marquer sur la feuille de relevé.

Dans la zone C, on procédera au palissage total et à la mesure des hauteurs, divisées en classes diamétrales, de toutes les espèces d'arbres présentes ; il faudra également calculer la hauteur moyenne d'insertion et le rapport d'élancement (h/d) par rapport aux classes diamétrales relevées.

À chaque point cardinal (N-S-E-O), une zone de test circulaire © d'un rayon de 1 m sera construite autour du périmètre de la zone circulaire ©, où les espèces arbustives et herbacées seront analysées.

Arbustes : le pourcentage de couverture et la densité, la hauteur moyenne et la hauteur d'insertion de la couronne de chaque espèce dont le diamètre est inférieur à 7,5 cm doivent être enregistrés.

Plantes herbacées : le pourcentage de couverture et la densité, la hauteur moyenne et le pourcentage de composante sèche pour les deux macro-types (monocotylédones et dicotylédones) doivent être enregistrés ; le détail des espèces individuelles est facultatif.

Dans chaque zone ©, une sous-parcelle (s) de forme carrée de 1 m² sera mise en place, où la hauteur totale de la litière, y compris la partie intacte, décomposée et humifiée, et les pourcentages des différentes parties qui la composent, seront mesurés à chaque sommet. L'estimation des classes de combustible sera ensuite réalisée (classes de décalage temporel : 1h, 10h, 100h et 1000h). Les données inhérentes aux trois premières classes seront estimées à l'intérieur des sous-parcelles en utilisant la technique d'échantillonnage par photo-plaques (Keane & Dickinson, 2007).

Dans le cas où la végétation présente sur la sous-placette s rendrait impossible l'évaluation de l'état de la litière et des classes de combustible, ou s'il s'avérait nécessaire d'éliminer la végétation arbustive présente, il est conseillé de déplacer la sous-placette en dehors de la zone circulaire c, le long de la

projection de la zone C, dans le sens des aiguilles d'une montre, sur une distance de 2 m, afin que le matériel végétal de la zone c ne soit pas éliminé, ce qui rendrait impossible l'évaluation des comparaisons les années suivantes.

Pour la classe 1000 h, tout le matériel présent le long de deux transects linéaires, tirés du centre et coupant le périmètre de la zone C, orientés nord et ouest, est compté.

Tous les morceaux de nécromasse d'un diamètre supérieur à 7,5 cm qui interceptent la projection au sol du transect seront comptés. Pour chaque échantillon enregistré, la classe de décomposition doit également être évaluée, en prenant comme ligne directrice la classification de Lutes et Kean (Lutes *et al.*, 2006).

Classification de Lutes et Kean :

Classe de décomposition	Description
1	L'écorce est toujours intacte. Toutes les brindilles, sauf les plus petites, sont présentes. Certaines anciennes aiguilles peuvent encore être présentes. Dur quand il est botté.
2	Certaines écorces manquent, ainsi que de nombreuses petites branches. Il n'y a plus de vieilles aiguilles sur les branches. C'est dur quand on donne un coup de pied.
3	La plupart de l'écorce et des branches de moins d'un pouce de diamètre sont manquantes. Le bois est encore dur quand on lui donne un coup de pied.
4	Similaire au matériau de classe 3, mais avec de l'aubier pourri. Le son est creux quand on donne un coup de pied et il est probablement possible d'enlever le bois extérieur avec la botte.
5	Le bois se sépare très facilement. Lorsqu'on lui donne un coup de pied, le matériau se désintègre presque entièrement.

Partie B

Les résultats des interventions réalisées dans le cadre du projet sont décrits ci-dessous. Initialement, il était prévu d'analyser les effets des techniques décrites dans les seuls sites toscans, sur lesquels tous les types de traitement visant à maintenir des zones ouvertes étaient prévus. Toutefois, compte tenu de la disponibilité de tous les partenaires, les zones de démonstration traitées dans les autres territoires ont également été suivies (Figure 7). Bien que les mêmes interventions n'aient pas été réalisées sur tous les territoires, ce qui rend les comparaisons plus compliquées, afin de donner une vision plus large des possibilités de traitement des combustibles forestiers pour réduire le danger d'incendie, tous les résultats du suivi réalisé selon le protocole partagé décrit ci-dessus sont rapportés ci-dessous.

Territoire	Lieu	Brûlage dirigé (BD)	Traitement mécanique (TM)	Pâturage prescrit (PP)	Combinaison de techniques
Région de la Toscane	Mont Prana	X	X		BD+TM
	Foce del Termine	X	X	X	BD+TM
	Fumagna	X	X	X	BD+TM+PP
	Podere Cerasa	X	X		BD+TM
	Principina Mare		X		
	Marina di Grosseto		X		
Région Ligurie	Pontinvrea		X		
	Ortovero		X		
	Mont Malpertuso		X		
	Prà (Genova)		X		
PACA	Porquerolles		X	X	BD+PP
	Cap Lardier			X	
Corse	Col de Bavella		X	X	BD+FP

Sardaigne	Arborea		X		
	Punta Negra		X		
	Putifigari		X		

Tableau 2 : Résumé des techniques utilisées pour la réduction du combustible dans les territoires de coopération



Figure 7 : Répartition des interventions réalisées dans le cadre du projet MED-Foreste

1. Technique du brûlage dirigé

1.1 Toscane

1.1.1 Description de l'intervention mise en œuvre

Quatre interventions ont été réalisées à Monte Prana, Foce del Termine, Fumagna et Podere Cerasa. La localité de Monte Prana est située dans les Alpes Apuanes à une altitude d'environ 1000 m, dans la municipalité de Camaiore. Il s'agit de pâturages et de pâturages arbustifs à proximité de la crête du Monte Prana avec une exposition prédominante sud-sud-ouest. La surface traitée est d'environ 2,6 hectares, traitée en 6 heures environ (un jour ouvrable en tenant compte du temps de déplacement) par 20 opérateurs.

Foce del Termine est situé dans les Alpes Apuanes, à une altitude d'environ 850-1000 m, dans la municipalité de Pescaglia. Il s'agit de pâturages et de pâturages arbustifs près de la crête avec une exposition principalement à l'est. La surface traitée est d'environ 2 hectares, traitée en 4,5 heures environ (une journée de travail en tenant compte du temps de déplacement) par 21 opérateurs.

La localité de Fumagna est située en Lunigiana à une altitude d'environ 950 m dans la municipalité de Comano. Il s'agit de pâturages et de prairies arbustives sur une pente à exposition dominante sud. La surface traitée est d'environ 2 hectares traités en 4 heures environ (une journée de travail compte tenu du temps de déplacement) par 38 opérateurs. Compte tenu de l'état du combustible (vieille brousse), une intervention mécanisée a d'abord été effectuée, suivie d'un site de brûlage dirigé.

Le Podere Cerasa est situé en Garfagnana, à une altitude d'environ 850 m, dans la municipalité de Pieve Fosciana. Les pâturages sont encore utilisés mais avec des zones marginales qui tendent à ne pas être utilisées par le bétail, avec une exposition ouest. La surface traitée est d'environ 5,6 hectares traités en 5,5 heures environ (une journée de travail en tenant compte du temps de déplacement) par 30 opérateurs. Dans tous les sites, le nombre d'opérateurs était sans doute disproportionné par rapport aux besoins réels, tant en raison de la nature expérimentale des interventions que du fait qu'il s'agissait des premiers sites de brûlage dirigé réalisés dans les zones respectives.

Les objectifs de toutes les interventions sont :

- la réduction et le contrôle du combustible végétal dans les zones ouvertes de haute altitude ;
- la création/entretien de zones de discontinuité du combustible en bordure de la forêt ;

Localisation	Municipalité	Montant
Mont Prana	Camaiore	6.700
Foce del Termine	Pescaglia	4.000
Fumagna	Comano	2.000
Podere Cerasa	Pieve Fosciana	3.000

Tableau 3 : Coût total de l'intervention par site



Chiantier de brulage dirigé – Monte Prana (Parc Régional des Alpes Apuanes)

1.1.2 Conditions d'application territoriale

Toutes les zones sont situées dans des zones montagneuses en pente ou en crête, plus ou moins abruptes et escarpées, parfois uniquement accessibles à pied. Tous les chantiers ont été autorisés, en ce qui concerne la contrainte hydrogéologique, par l'organisme compétent conformément à la loi forestière ; en outre, pour le chantier du Monte Prana, il a fallu obtenir l'autorisation du Parc régional des Alpes Apuanes, de la Région Toscane (Vinca pour la présence de la ZSC) et de la Surintendance pour la contrainte paysagère.

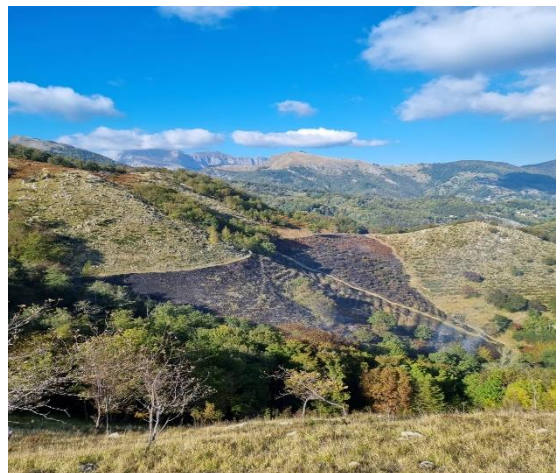
Toutes les interventions ont été réalisées par les employés des autorités locales et de la Région Toscane, y compris les figures les plus spécialisées comme le chef de chantier et les travailleurs des torches.

Avant l'exécution des chantiers, les Autorités Locales (Unions de Communes) ont réalisé une campagne d'information auprès des citoyens pour les informer sur les motivations et les modalités de fonctionnement des interventions.

1.1.3 Évaluation : efficacité par rapport à l'objectif de l'intervention, durée estimée ou mesurée, coûts réels par rapport aux coûts budgétés

D'après l'expérience acquise au fil des ans sur les sites de brûlage dirigé, nous pouvons certainement affirmer que le facteur qui influence le plus la réalisation des objectifs fixés est la condition météorologique et donc l'identification d'une fenêtre météorologique appropriée pour chaque site. Après avoir identifié la fenêtre météo dans laquelle effectuer les travaux, le plus difficile est d'identifier le jour qui correspond à cette fenêtre météo et d'organiser le chantier pour cette journée. Dans l'exécution des chantiers en question, il a été possible d'identifier de très bonnes journées pour l'exécution des interventions et il a donc été plus facile d'atteindre les objectifs fixés. En ce qui concerne les coûts des interventions, il faut tenir compte du fait que 3 des 4 chantiers ont été réalisés dans des zones, et donc avec des organisations, où la technique du brûlage dirigé était utilisée pour la première fois. Malgré le fait que les personnages les plus spécialisés sur le chantier (directeur, opérateurs de torche) provenaient d'autres entités plus expérimentées dans l'application du brûlage dirigé, le nombre total d'opérateurs impliqués était plutôt élevé pour des raisons de sécurité et pour maintenir une prudence nécessaire dans l'exécution des manœuvres.

Du point de vue des résultats du suivi, la diminution de la charge de combustible sec pour les trois catégories de taille est évidente, avec la seule exception enregistrée dans l'exploitation Cerasa, où après le traitement par brûlage dirigé, deux ans après l'intervention, on note une légère augmentation de la charge de combustible sec, qui est toutefois de faible ampleur, de l'ordre d'environ 0,05 kg par mètre carré (0,5 t/ha).



Chantier de brûlage dirigé de Pescaglia (Loc. Foce del Termine)

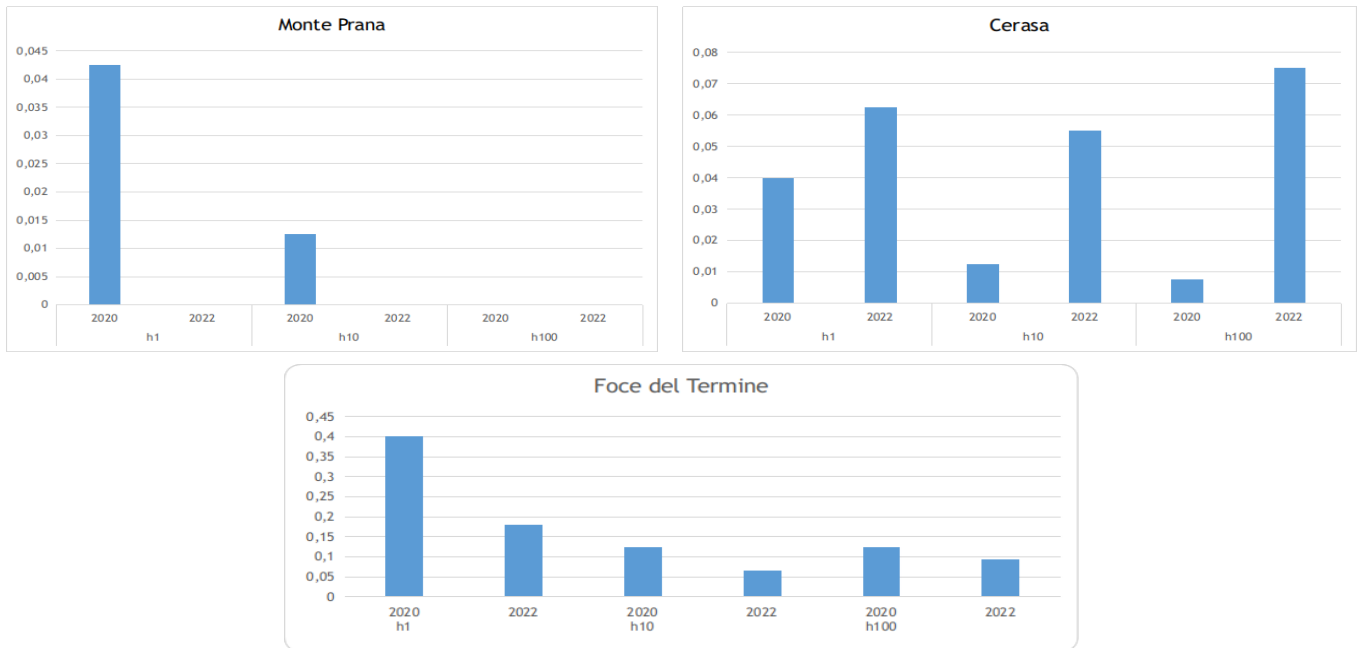


Figure 8 : Changements dans le combustible sec de surface sur les sites de brûlage dirigé en Toscane.

En ce qui concerne les composantes herbacées et arbustives, on peut noter une diminution générale des hauteurs moyennes combinée à une augmentation de la diversité spécifique après le traitement par brûlage dirigé. Le nombre d'espèces recensées a augmenté (de 14 à 26 dans l'exploitation Cerasa et de 7 à 36 à Foce del Termine) sur tous les sites, à l'exception du Monte Prana, où la zone traitée par brûlage dirigé était colonisée par une épaisse couche de fougères (*Pteridium aquilinum* L. (Kuhn)) de plus d'un mètre et demi de haut, sous laquelle s'est développée une couche inhomogène de brachypodium (*Brachypodium pinnatum* (L.)). La zone traitée sur le Monte Prana était autrefois affectée par une petite nappe d'eau de pluie, aujourd'hui totalement envasée, mais qui conserve une dépression dans laquelle le sol a tendance à être plus humide. Cette condition particulière, combinée à l'effet acidifiant temporaire des cendres générées par le brûlage dirigé, a pu générer les conditions optimales pour le développement des fougères, ce qui pourrait représenter une étape initiale dans le développement d'un système de landes d'une plus grande complexité écologique.

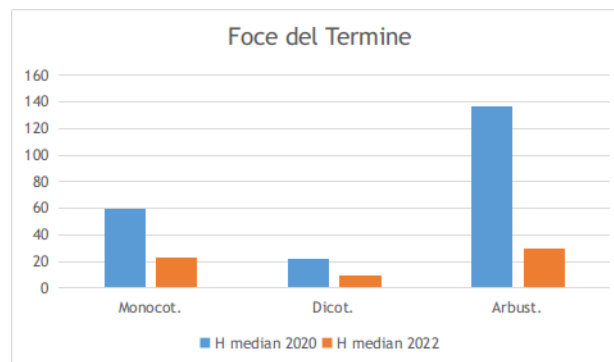
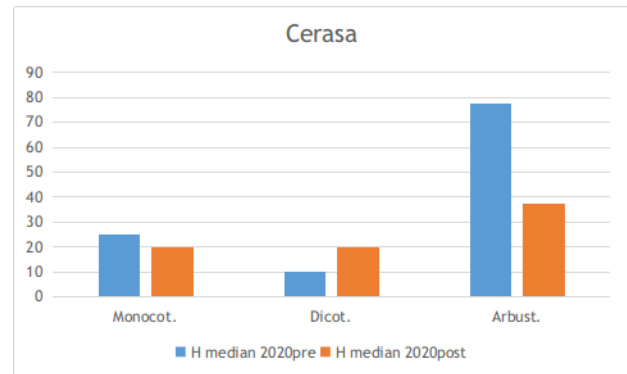
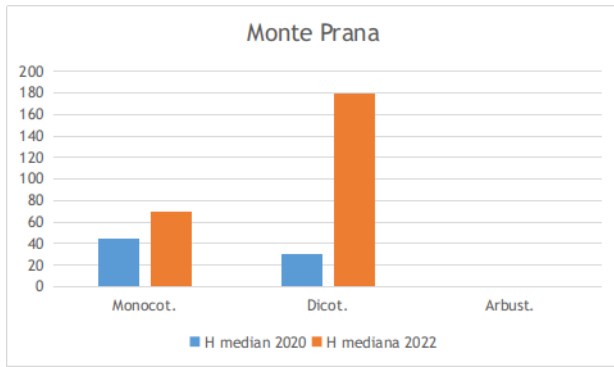


Figure 9. Changements de la hauteur de la composante herbacée et arbustive dans les situations avant (bleu clair) et après (orange) le traitement par la technique du brûlage dirigé.

Freq	Foce del Termine		Le Mont Prana		Cerasa	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
Monocot.	1	4	2	1	1	1
Dicot.	4	30	18	1	10	24
Arbust.	2	2	0	0	3	1
ToT	7	36	20	2	14	26

Tableau 4 : Distribution de fréquence des espèces herbacées et arbustives enregistrées sur les sites de brûlage dirigé avant et après les interventions.

1.1.4 Synthèse Analyse Swot par territoire et technique

<p>Points forts</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Réduction du coût d'exécution ● Vitesse d'exécution ● Organisation régionale sur les forêts et délégation de l'AIB ● Plan de communication et d'éducation environnementale sur les sites de brûlage dirigé 	<p>Faiblesses (faiblesses)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Dépendance stricte à l'égard du climat ● Limites opérationnelles dues aux contraintes environnementales ● Nécessité d'un personnel formé (physiquement et mentalement) et ayant de l'expérience dans le domaine.
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Croissance professionnelle (concepteurs, directeurs, torches, analystes, météo) ● Formation AIB ● Transfert d'expérience tant au sein de la RT qu'à l'extérieur ● activités de sensibilisation à la culture du risque 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Hostilité d'une partie du monde environnemental ou des citoyens ● Opposition d'une partie du monde forestier



Opérateurs du chantier de brûlage dirigé de Comano (Lunigiana)

2. Traitement mécanique du combustible

2.1. Toscane

2.1.1. Description de l'intervention mise en œuvre

L'intervention mécanisée a été réalisée principalement dans la province de Grosseto, à Marina di Grosseto et Principina a Mare. L'intervention concernait le traitement de pinèdes dans des zones d'interface, densément peuplées surtout pendant la période estivale, afin de réduire le risque de feux de forêt. Les travaux concernaient à la fois le sous-bois, avec la coupe des arbustes, et les arbres, avec le chaulage des pins et l'éclaircissement là où c'était nécessaire. De cette manière, le passage d'un éventuel incendie vers les couronnes a été empêché. Environ 13-14 hectares de surface plane ont été traités dans le but de rompre la continuité du combustible à la fois verticalement et horizontalement.

De petites zones ont également été traitées exclusivement avec des équipements mécanisés sur des sites de brûlage dirigé, dans le but de comparer les deux techniques.



Intervention de type mécanisé à Principina a Mare (Grosseto)



Intervention de type mécanisé à Marina di Grosseto (gauche ex-ante e droite ex-post)

2.1.2. Conditions d'application territoriale

La morphologie des zones traitées est adaptée à une intervention mécanisée, il s'agit en effet de zones plates et bien accessibles où aucune condition météorologique particulière n'est nécessaire pour opérer, à l'exclusion de la pluie ou d'un sol gorgé d'eau. Outre la contrainte hydrogéologique, autorisée par l'organisme compétent en vertu de la loi sur les forêts, les travaux étaient soumis à la contrainte paysagère et donc à l'autorisation de la surintendance. Les travaux ont été réalisés en régie directe par les ouvriers forestiers de l'Unione di Comuni delle Colline Metallifere. La campagne d'information auprès du public était très importante, car une partie du monde de l'environnement était contre les interventions. En revanche, les petites zones mécanisées réalisées sur les sites de brûlage dirigé présentaient des conditions morphologiques plus difficiles (zones montagneuses) et ont parfois été réalisées manuellement. Évidemment, ce ne sont pas les conditions dans lesquelles la mécanisation peut exprimer au mieux son potentiel, mais l'intervention avait précisément un but comparatif avec la technique du brûlage dirigé.

Localisation	Municipalité	Montant
Le Mont Prana	Camaiore	22.700,00
Foce del Termine	Pescaglia	11.200,00
Fumagna	Comano	17.423,00
Podere Cerasa	Pieve Fosciana	19.750,00
Province de Grosseto	Grosseto	55.800,13

Tableau 5 : Coût total de l'intervention par site

2.1.3. Évaluation : efficacité par rapport à l'objectif de l'intervention, durée estimée ou mesurée, coûts réels par rapport aux coûts budgétés

Les interventions réalisées à Marina di Grosseto ont été efficaces tant en termes d'objectifs atteints, à savoir la réduction du risque d'incendie, qu'en termes économiques, puisqu'elles ont été réalisées dans des zones plates et facilement accessibles.

Il en va autrement pour les autres sites situés dans des zones montagneuses éloignées et peu accessibles, où les travaux ont parfois été effectués avec des outils manuels. Dans ces cas, tout en obtenant un bon résultat du point de vue de la réalisation des objectifs, notamment en ce qui concerne la réduction du risque d'incendie, le coût était élevé, surtout si on le compare à celui du brûlage dirigé.

En termes de résultats, le traitement mécanique de réduction du combustible a eu moins d'effet sur la composante combustible de surface, concentrant les interventions sur la composante arbustive et arborée dans les zones de la province de Grosseto.

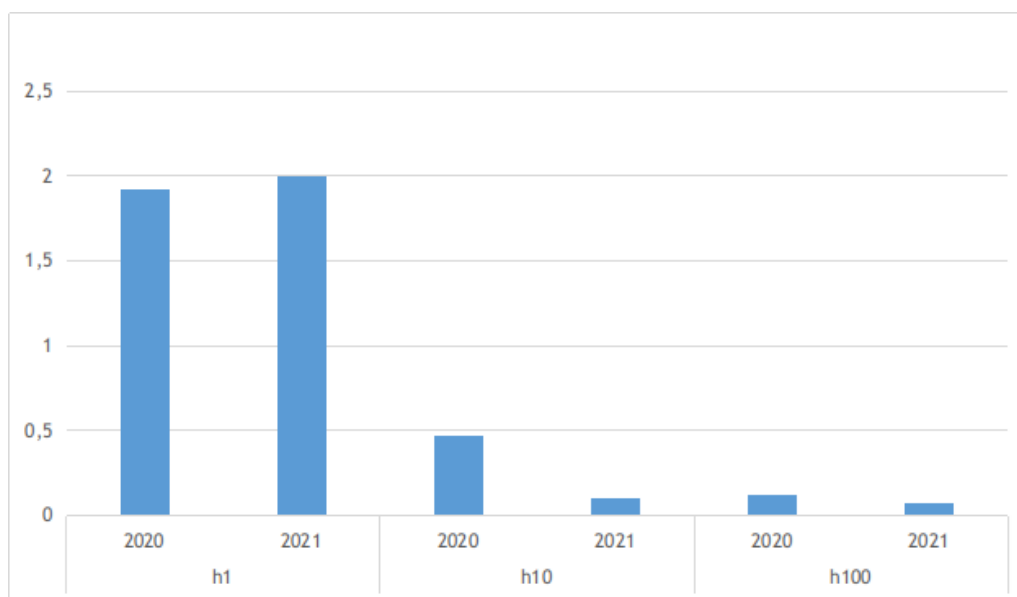


Figure 10. Modification du combustible végétal de surface - Marina di Grosseto

Les effets les plus significatifs se trouvent dans la composante des combustibles à écailles, notamment en ce qui concerne les hauteurs des composantes herbacées et arbustives (indiquées dans le tableau 6) et la hauteur d'insertion de la couronne de la composante des arbres.

	Fréquence (n)		Hauteur totale (cm)	
	Pré-traitement	Post-traitement	Pré-traitement	Post-traitement
Monocotylédones	4	4	20	17,5
Dicotylédones	2	1	5	25
Arbustes	6	5	50	30

Tableau 6 : Évolution de la composante herbacée dans la zone de Marina di Grosseto.

Il est évident que le traitement mécanique des combustibles n'a pas eu d'effet en termes de richesse spécifique pour la composante herbacée, mais il y a eu une diminution notable de la hauteur de la composante arbustive qui, en combinaison avec l'augmentation notable de la hauteur de l'insertion de la canopée, garantit une discontinuité notable du combustible, réduisant le risque d'éventuels incendies passant à travers la canopée (tableau 7) aussi bien sur les zones traitées de Marina di Grosseto que de Principina a Mare.

En effet, la hauteur des auvents a augmenté en moyenne de 5 mètres dans les deux zones de la province de Grosseto.

Plan arboricole	Densité (p/ha)		Hauteur d'insertion de la couronne (m)	
	Pré-traitement	Post-traitement	Pré-traitement	Post-traitement
Principina	450	350	7	12
Marina	450	450	14	19

Tableau 7. Variation de la composante arboricole dans les zones de Marina di Grosseto et Principina a Mare.

En ce qui concerne les zones ouvertes traitées en Toscane, après les interventions de réduction mécanique du combustible, une diminution générale de la hauteur des composants arbustifs et herbacés et une augmentation de la richesse spécifique ont été notées (Figure 11). Même dans la zone de Fumagna, dans la parcelle où seul un traitement mécanique a été effectué et qui a ensuite été fermée au pâturage au moyen d'une clôture, le nombre d'espèces a été multiplié par cinq, passant de trois seulement avant l'intervention à une moyenne de 15 espèces différentes par mètre carré.

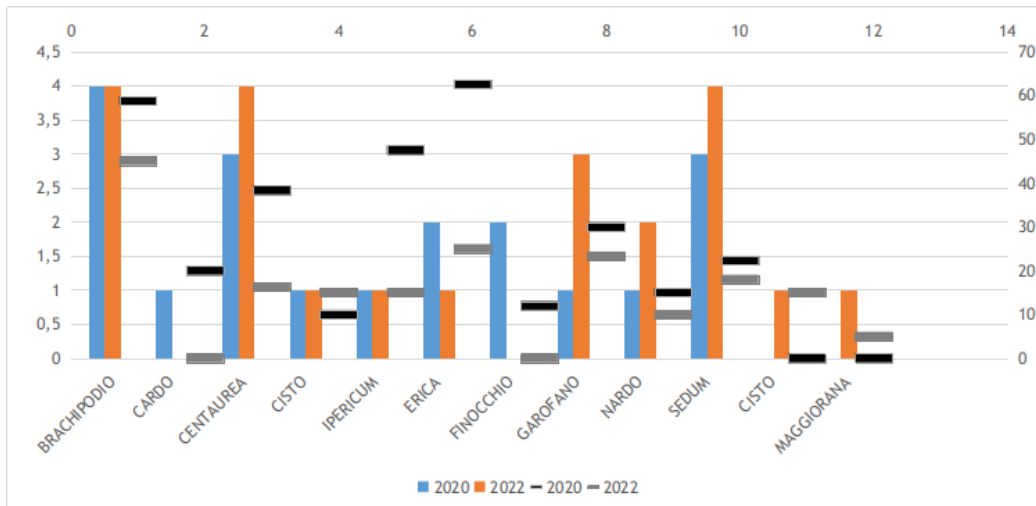


Figure 11. Variation de la composante herbacée et arbustive dans la zone traitée mécaniquement sur le Monte Prana - fréquences spécifiques à gauche (colonnes bleues et orange) et hauteurs moyennes des espèces à droite (lignes noires et grises)

2.1.4. Synthèse Analyse Swot par territoire et technique

<p>Points forts</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Technique bien connue des travailleurs forestiers ● Non lié à des conditions météorologiques particulières 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Ne convient pas à tous les terrains
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Une technique moins contestée par le monde de l'environnement 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> ●

2.2. Ligurie

2.2.1. Description de l'intervention mise en œuvre

La définition des interventions dans les zones pilotes était basée sur l'objectif de réduire la surface potentiellement affectée par le feu, selon deux catégories d'action : les interventions sylvicoles et les interventions infrastructurelles.

Dans la catégorie des interventions sylvicoles, les interventions de réduction du combustible ont été réalisées au moyen d'éclaircies sélectives de différentes intensités sur la végétation arborée et arbustive, de cubage, d'interventions intensives sur la régénération des conifères méditerranéens après le passage du feu, et d'élimination de la composante arborée endommagée par des phytopathologies.

Des interventions infrastructurelles ont été réalisées sur des éléments existants, tels que les bandes de périmètre des pistes et routes forestières, les lignes de service qui traversent les peuplements boisés (lignes pétrolières et électriques), les sentiers de randonnée et la zone d'interface ville-forêt, afin d'isoler les éventuelles sources d'inflammation, d'augmenter la résilience des peuplements au passage du feu et d'améliorer l'opérativité des équipes de l'AIB pendant la phase de lutte active.

Les zones pilotes ont été identifiées en appliquant des critères administratifs (répartition territoriale des interventions ; propriété de la surface ; interventions dans des zones soumises à des restrictions de protection de l'environnement et du paysage ; interventions dans des zones à risque d'incendie), des critères topographiques (accessibilité des zones pour les visites), des critères structurels du peuplement et de la végétation (zones statistiquement sujettes aux incendies avec une grande surface).

Quatre zones pilotes ont été identifiées dans les peuplements forestiers de : Ortovero (SV), Pontinvrea (SV), Gênes, Vernazza (La Spezia).

Zone pilote d'Ortovero

La zone couvre une superficie totale de 2,68 ha. dans la localité de Monte Ferrari-Rio Merco à une altitude comprise entre 80 et 130 m asl, divisée en deux sous-zones séparées par le Rio Pulla. Des travaux ont été réalisés pour réduire la végétation sur le plan horizontal (couverture de conifères à -80%) et pour créer des discontinuités sur le plan vertical (ébranchage et coupe d'arbustes jusqu'à 2 m), sur une surface de 1,75 ha. Des coupures de combustible ont également été effectuées dans les zones d'interface d'une autre région voisine.

Le chantier a été confié à l'entreprise à la fin du mois de mars et les travaux ont été achevés en deux mois. Les travaux proprement dits ont occupé l'entreprise pendant 10 jours ouvrables.

Zone pilote de Pontinvrea

Le projet pilote a couvert une superficie totale de 3,76 ha. sur le versant sud de Bric della Codolla-Pian Temerlano, à une altitude comprise entre 460 et 500 m, avec une pente moyenne de 16 %.

Le chantier a débuté la première semaine d'avril et s'est achevé la dernière semaine de mai, engageant l'entreprise pour une durée effective de trois semaines de travail.

Les travaux ont été menés selon trois axes.

La première intervention concerne une zone d'environ 1 ha, dans le but de créer une discontinuité horizontale entre les couronnes (abattage sélectif des spécimens de *P. sylvestris*, élagage et coupe des arbustes jusqu'à 3 m).

La deuxième intervention consiste en une éclaircie et un abattage sélectif de 40 % de la végétation arborée, un élagage jusqu'à 3 m et l'élimination des arbustes.

La troisième intervention consiste à couper toute la végétation arborescente et arbustive dans les deux bandes relatives au gazoduc et à la ligne électrique afin de permettre un accès ou une voie de fuite pendant les phases de combat actif.

Zone pilote de Gênes

Le projet pilote a concerné une surface de 3,03 ha. sur le versant sud-est de Bric Colla, dans la localité de Colla di Prà, à une altitude comprise entre 340 et 520 mètres. Le versant présente une pente moyenne de 35 % et se caractérise par une pinède dense de pins maritimes (densité de 11 000 plants/ha et hauteur moyenne de 3,5 m.) accompagnée d'une végétation arbustive avec une prédominance de bruyère arborescente et de sorbier.

La zone fait partie de la ZSC IT1331501 Praglia - Pracaban - Monte Leco - Punta Martin.

La zone pilote présente une fragilité prononcée de la stabilité des pentes.

Le projet a défini de réaliser une réduction drastique de la composante arborée et arbustive inflammable pour réduire le combustible (éclaircie sur une bande de 10 m) et l'insertion d'espèces pionnières et améliorantes à feuilles larges (aulne napolitain, chêne vert et chêne pubescent). L'intervention a été mise en œuvre en exploitant la fenêtre temporelle dans laquelle la régénération du pin maritime n'a pas encore atteint la maturité physiologique pour la production de graines.

L'intervention est développée pour protéger le tracé du sentier de randonnée REL (Rete escursionistica Ligure - Réseau de randonnée ligure) qui relie Colla di Pra à Cappella della Baiarda et Punta Martin, fréquenté par les randonneurs et les vététistes.

Les travaux sur le site ont été interrompus et repris à plusieurs reprises et on estime qu'ils ont duré environ 21 jours. Une partie des déblais a été découpée ou dépecée et laissée sur place.

Six mois après la plantation, 90 % des plants d'aulne napolitain, 40 % du chêne vert et 20 % du chêne pubescent survivent en végétation.

Zone pilote de Vernazza

Le projet pilote couvrait une superficie de 2,71 ha sur le versant nord-est du Monte Malpertuso, dans la municipalité de Vernazza, à une altitude de 600 mètres. La pente a une inclinaison moyenne de 26%.

La zone d'intervention se situe dans le territoire du Parc National des 5 Terres et est traversée par le sentier de randonnée inscrit au Réseau de Randonnée de la Ligurie qui relie les hameaux côtiers aux communes de Val di Vara. La zone est accessible aux véhicules par une piste forestière qui se termine au sommet du Monte Malpertuso. Il n'y a pas de glissement de terrain ni de phénomène d'érosion de surface ou de ruissellement dans la zone pilote. Le peuplement est caractérisé par un taillis composé de drageons de châtaigniers et de chênes dindes et chênes pubescents matures et de grands pins maritimes. Le sous-bois est caractérisé par une couche arbustive dense de bruyère, de genêt et de lentisque. Le projet

prévoyait la remise en état du peuplement en éliminant la strate arbustive, la nécromasse de pin maritime sur pied et couchée et la fraction de feuillus secs et en décomposition, en préservant le matricule de feuillus, la régénération existante et les drageons suffisamment vigoureux pour favoriser la régénération des graines.

L'intervention a eu lieu entre le 19 avril et le 20 mai. La phase la plus critique a été le déblaiement des matériaux secs ou déjà pourris sur le sol. L'entreprise contractante estime qu'environ 240 m³ de bois ont été déboisés. Les travaux d'extraction seront achevés au cours de la première semaine de septembre.

2.2.2. Conditions d'application territoriale

L'ANCI Liguria, en tant qu'association mais néanmoins organisme de droit public, a dû gérer toutes les procédures organisationnelles et administratives liées aux interventions pilotes, en suivant l'objet de la négociation publique, sous réserve de la grande limitation qui régit la puissance publique : l'inexistence d'une autonomie de négociation libre, pleine et effective, au même titre que celle prévue pour les sujets privés.

D'un point de vue matériel, le cahier des charges, qui constituait la lex specialis avec laquelle l'ANCI Liguria annonçait son intention de contracter, énonçait les clauses concernant les conditions de participation et décrivait les modalités de déroulement de l'appel d'offres.

Ils y étaient liés pendant toute la phase publique, c'est-à-dire jusqu'à ce que le contractant soit identifié par l'acte d'attribution du marché ; aucune exception ou dérogation arbitraire des clauses ne pouvait être faite pendant cette période.

Par conséquent, la voie de la contractualisation directe au sens de l'article 36, alinéa 2, lettre a) du décret législatif 50/2016 a été choisie, tant pour les gestionnaires de travaux que pour les entreprises agro-forestières.

Pour le premier, un appel à manifestation d'intérêt a été lancé pour la constitution d'une liste d'opérateurs économiques à inviter à une procédure ultérieure visant à l'attribution directe.

Pour ces derniers, une étude de marché a été réalisée afin d'identifier les entreprises ayant certaines exigences pour pouvoir réaliser les interventions prévues dans les esquisses de projet articulées avec le soutien de la Région Ligurie. D'un point de vue organisationnel, un aspect très important a été la gestion des relations avec les municipalités impliquées et avec les particuliers en tant que propriétaires de certains terrains sur lesquels les interventions ont été développées. Les relations avec les communes de l'ANCI étaient réglées par des conventions dans lesquelles étaient définis les temps, les méthodes et les tâches des sujets impliqués.

Elle a également joué un rôle de facilitateur dans la définition des accords entre les municipalités et les propriétaires privés des terrains concernés. Dans ces cas, la municipalité a signé un accord avec chaque propriétaire individuel convenant du type d'intervention, des engagements des deux parties et de la volonté de récupérer ou non le matériel résultant des interventions.

2.2.3. Évaluation : efficacité par rapport à l'objectif de l'intervention, durée estimée ou mesurée, coûts réels par rapport aux coûts budgétés

La réduction des combustibles, en termes de qualité, de position stratigraphique, horizontale et verticale, et en fonction de la protection et de l'utilisabilité, pendant les phases de lutte active de l'AIB, des infrastructures présentes dans la forêt, était l'objectif poursuivi dans les différentes zones pilotes. Comme pour les zones traitées en Toscane, les interventions se sont principalement concentrées sur la composante arborée et arbustive dans le but de créer une discontinuité dans les combustibles et de réduire la charge des composantes aériennes. Du point de vue des combustibles de surface, les activités du site sur la composante arboricole ont augmenté la charge de tous les décalages temporels, comme le montre la figure 12.

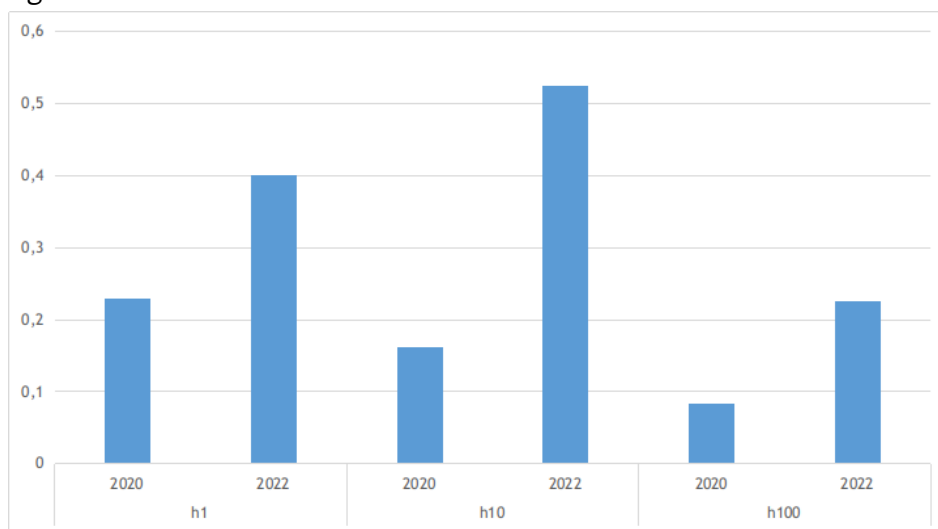


Figure 12. Changement des combustibles de surface enregistrés dans la région de Pontinvrea

Cependant, la réduction du risque d'incendie est assurée par les activités de traitement, enregistrant une diminution significative de la hauteur du plan arbustif, comme le montre le graphique de la figure 13, où l'on passe de hauteurs maximales de 3 mètres à des hauteurs moyennes inférieures à 0,5 mètre.

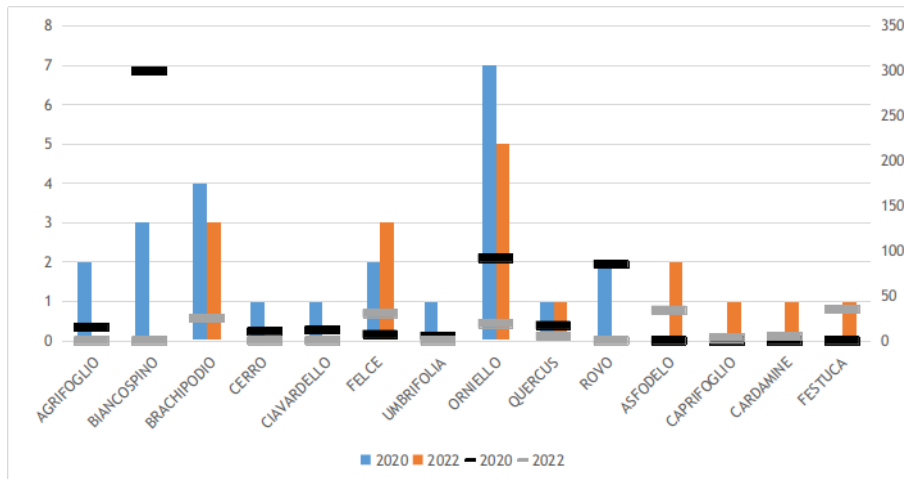


Figure 13. Variation de la composante herbacée et arbustive dans la zone traitée mécaniquement sur Pontinvrea - fréquences spécifiques à gauche (colonnes bleues et orange) et hauteurs moyennes des espèces dans la colonne de droite (lignes noires et grises)

La combinaison de la réduction de la hauteur du sous-bois avec les interventions sur la composante arborée, avec l'élagage de l'arbre à une hauteur de 2 mètres, est efficace en termes de discontinuité afin de limiter le passage d'un éventuel feu de surface au niveau de la couronne.

Des résultats similaires ont été enregistrés sur les autres sites contrôlés dans la région Ligurie en termes de charge combustible de surface, comme le montre l'exemple de la figure 14 pour la zone traitée à Vernazza.

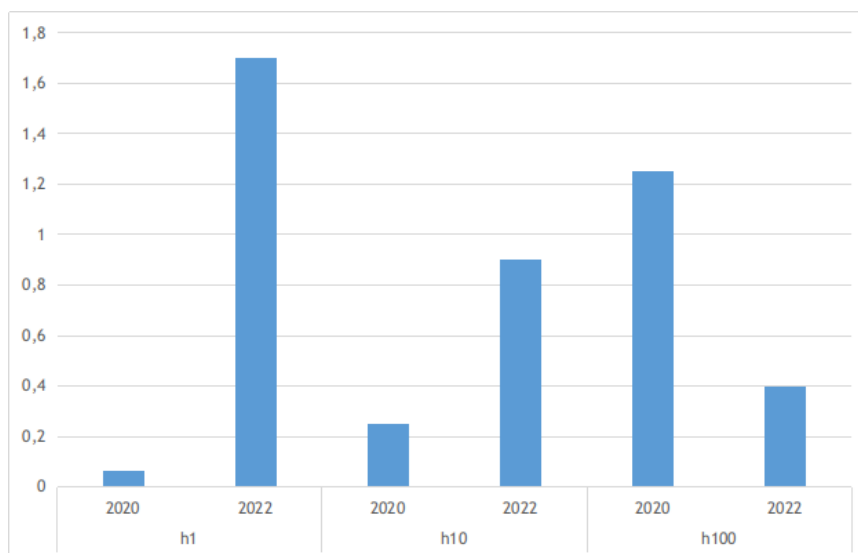


Figure 14. Modification des combustibles de surface enregistrée dans la région de Vernazza

Dans ce cas, la forte réduction de la composante arborée (élimination de tous les conifères et des châtaigniers secs ou en décomposition), passant d'un pourcentage de couverture de la canopée de plus de 70% avant l'intervention, à une couverture moyenne de moins de 30%, a favorisé le développement en

hauteur de la composante herbacée, qui a également enregistré une augmentation en termes d'espèces, passant d'une moyenne de 6 à une moyenne de 11 espèces par mètre carré, après l'intervention. Dans la zone pilote d'Ortovero, située à proximité d'une zone d'interface industrielle, l'éclaircissement, l'élagage et l'enlèvement des conifères ont également augmenté la quantité de matériel végétal au sol, en particulier les plus gros (décalage de 10 et 100 heures). Cependant, l'élagage et l'éclaircissement ont créé une discontinuité marquée en termes de distribution horizontale et verticale (plan d'insertion de la couronne après intervention supérieur à 2 mètres). En outre, on a constaté une augmentation considérable du nombre d'espèces herbacées et de la régénération de feuillus tels que les charmes, les châtaigniers et les lentisques après l'intervention (figure 15).

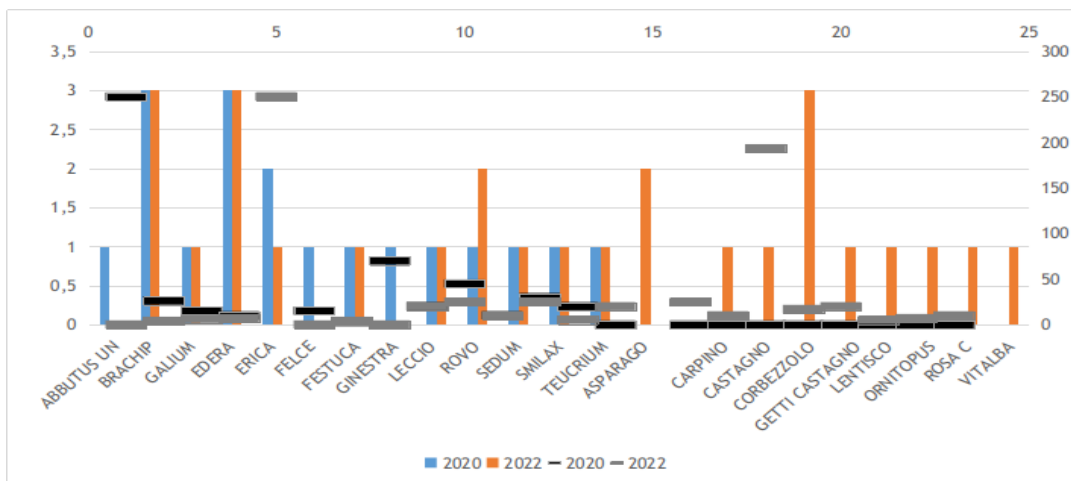


Figure 15. Variation de la composante herbacée et arbustive dans la zone traitée mécaniquement sur Ortovero dans la zone d'interface - fréquences spécifiques à gauche (colonnes bleues et orange) et hauteurs moyennes des espèces à droite (lignes noires et grises)

La planification, le partage des objectifs avec les propriétaires, publics ou privés, et la réalisation des chantiers ont permis aux administrateurs, techniciens et entrepreneurs d'acquérir de nouvelles connaissances et expériences. Les zones pilotes, bien que très différentes dans leurs paramètres de départ pour les aspects de la végétation, de la protection de la nature, ou simplement pour le type de propriété et de gestion, font face à des criticités récurrentes sur le territoire régional pour lesquelles les activités de traitement du combustible peuvent être des facteurs clés dans la réduction de la superficie affectée par les incendies, surtout si une distribution territoriale efficace des interventions peut être planifiée au niveau des zones boisées.

A la lumière de l'expérience acquise avec le projet MED-Foreste, il est considéré comme fondamental pour la mise en œuvre efficace des futures interventions que les objectifs, les méthodes et le calendrier de l'intervention soient précisément définis dans les projets exécutifs, et que les entrepreneurs chargés des travaux soient dotés d'équipements spécifiques et de personnel formé.

Un autre facteur clé pour réaliser une économie d'échelle efficace et réduire les coûts sera de définir des opérations d'une taille spatiale adéquate pour permettre une mécanisation appropriée et une organisation efficace du site, également dans le but de représenter des assortiments quantitatifs et/ou qualitatifs d'intérêt commercial.

APERÇU DES COÛTS D'INTERVENTION

Localité	Municipalité	Travaux réalisés en économie directe (personnel interne a l'organisation)	Travaux réalisés par un entreprise externe (marché public)	Nombre d'ha par intervention (ha)	Montant (€)	Cout Unitaire par ha (€/ha)
MONTE FERRARI RIO MERCIO	ORTOVERO (SV)		X	2,68	18.519,16	6.910
BRIC DELLA COLLA PIAN TEMERLANO	PONTINVREA (SV)		X	3,76	23.542,66	6.261
LOC. COLLA DI PRA'	GENOVA (GE)		X	3,03	20.639,44	6.812
LOC. MONTE MALPERTUSO	VERNAZZA (SP)		X	2,71	31.115,08	11.482

Tableau 8. Coûts des interventions réalisées dans la Région Ligurie

2.2.4 Synthèse Analyse Swot par territoire et technique

Zone pilote d'Ortovero

<p>Points forts</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réduire le risque de propagation et la transition du feu de surface au feu de couronne. - Maintien d'une couverture arborée à prédominance de feuillus pour contenir le risque hydrogéologique. - Acceptation favorable des façades d'intervention dans la zone d'interface. 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> - Difficultés d'accès et de mécanisation. - Coûts de récolte élevés. - Nécessité d'un entretien fréquent. - La taille de la zone d'intervention est trop petite pour une mécanisation adéquate du site. - Gestion complexe des relations public-privé. - Nécessité d'un investissement substantiel dans la planification et la mise en œuvre des activités de prévention.
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de l'opérabilité (voies d'accès et de repli, fronts d'attaque) des équipes AIB dans les phases de combat actif. - Sensibilisation à la culture de prévention des risques. - Croissance professionnelle des techniciens et des entreprises. 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> - L'administration publique manque de personnel technique chargé de la conception, de la gestion des travaux et des essais.

Zone pilote de Pontinvrea

<p>Points forts</p> <ul style="list-style-type: none"> - Intervention sur les espèces forestières présentant le plus grand risque d'incendie avec des impacts limités sur les stades de développement de la végétation. - Réduire le risque de propagation et la transition du feu de surface au feu de couronne. Maintien d'une couverture arborée à prédominance de feuillus pour contenir le risque hydrogéologique. - Revigoration des souches de châtaigniers. 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les opérations d'exploitation forestière sont limitées par les coûts élevés de la construction des pistes d'exploitation. - Coûts élevés de la main-d'œuvre dans les opérations d'éclaircie sélective, de décapage du bois et de montage. - Taille des zones d'intervention fonctionnelle à une organisation et une mécanisation optimales des activités du site. - Gestion complexe de la relation public-privé. - Objections et remarques critiques de certains propriétaires privés. - Nécessité d'un investissement substantiel dans la planification et la mise en œuvre des activités de prévention.
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de l'opérabilité des équipes AIB dans les phases de combat actif. - Sensibilisation à la culture de prévention des risques. - Croissance professionnelle des techniciens et des entreprises. 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> - L'administration publique manque de personnel technique chargé de la conception, de la gestion des travaux et des essais.

Zone pilote de Gênes

<p>Points forts</p> <ul style="list-style-type: none"> - Intervention sélective sur les espèces à haute combustibilité. - Augmentation de la résilience du peuplement d'arbres aux maladies végétales et aux dommages causés par le feu. - Maintien d'une couverture arbustive partielle pour la réduction des risques hydrogéologiques. - Intervention compatible avec la conservation du paysage et l'utilisation touristique de la ZSC. 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nécessité d'un entretien fréquent - Coûts élevés de la main-d'œuvre. - De petites zones pilotes pour une organisation et une mécanisation optimales des activités du site. - Gestion complexe des relations public-privé. - Déficit de compétences techniques dans les entreprises du secteur dans la région - Nécessité d'un investissement substantiel dans la planification et la mise en œuvre des activités de prévention.
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de l'opérabilité des équipes AIB dans les phases de combat actif. - Utilisation sûre des sentiers de randonnée. <p>Croissance professionnelle des techniciens et des entreprises.</p>	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> - L'administration publique manque de personnel technique chargé de la conception, de la gestion des travaux et des essais.

Zone pilote de Vernazza

<p>Points forts</p> <ul style="list-style-type: none"> - Restauration de la composante arboricole. - Maintien d'une couverture arborée suffisante, principalement des feuillus, pour réduire les risques hydrogéologiques. - Intervention compatible avec les objectifs de conservation du paysage et de jouissance touristique du parc national des 5 Terres. 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> - Coûts de main-d'œuvre élevés - Une zone pilote de petite taille pour une organisation et une mécanisation optimales des activités du site. - Gestion complexe des relations public-privé. - Déficit de compétences techniques dans les entreprises du secteur dans la région. - Les éventuelles objections et remarques critiques de certains propriétaires privés.
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de l'opérabilité (voies d'accès et de repli, fronts d'attaque) des équipes AIB dans les phases de combat actif. - Utilisation en toute sécurité des sentiers de randonnée du parc. - Croissance professionnelle des techniciens et des entreprises. - Organisation d'une chaîne de production liée à la prévention des risques d'incendie. 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les éventuelles objections et remarques critiques de certains propriétaires privés. - L'administration publique manque de personnel technique chargé de la conception, de la gestion des travaux et des essais. - Nécessité d'un investissement substantiel dans la planification et la mise en œuvre des activités de prévention.

2.3. Sardaigne

2.3.1. Description de l'intervention mise en œuvre

Dans le cadre des actions menées dans le cadre du projet Med-Foreste, l'Agence FoReSTAS a activé deux chantiers traditionnels (Arborea et Alghero) et un mini chantier de démonstration (Putifigari).

Site traditionnel : Site d'Arborea

Localiser et encadrer le site d'intervention

Le premier site d'intervention, appelé Pineta del Litorale Arborea - Terralba, est situé dans le Campidano centre-nord, entre l'étang S'Ena Arrubia au nord et les étangs San Giovanni et Marceddi au sud ; il s'agit d'une bande de 150 à 750 m de large, constituée à l'origine d'un système dunaire modifié par la plantation de la pinède (*Pinus pinea*) effectuée dans le cadre des vastes travaux de récupération visant à stabiliser les sables côtiers. En ce qui concerne la végétation, très schématiquement, nous pouvons subdiviser deux macro-typologies : la végétation dunaire naturelle, même si elle est très altérée, et les formations forestières dominées par des conifères (*Pinus pinea*) partiellement associés à *Eucaliptus rostrata*, d'origine artificielle introduite avec le reboisement. D'un point de vue sylvicole, il s'agit de forêts équiennes d'environ 85-90 ans en bonne condition végétative, d'importance paysagère et historique-culturelle, constituant un élément du vaste travail de récupération hydraulique de l'étang de Sassu.

Sur cette zone, un chantier a été organisé sur une surface brute d'environ 24,5 ha composée de trois compartiments sylvicoles du complexe forestier : l'objectif principal était d'améliorer la résistance au feu des peuplements présents par le biais d'une action sylvicole principalement orientée vers l'atténuation du risque incendie.

Les travaux ont été réalisés au cours de deux années sylvicoles successives : au cours de la première année (année sylvicole 2020-21), les travaux de déplacement ont été réalisés dans un peuplement très dense de *Pinus pinea* d'environ 12-14 ans d'origine naturelle post-incendie (4,3 ha). La deuxième année (2021-2022), l'intervention (diversement modulée) a concerné un peuplement mixte de *Pinus pinea* et *Eucaliptus rostrata* âgé d'environ 85 ans (3,9 ha). Les deux années, des bandes bordant les routes et des pare-feu ont également été créés, une activité de routine réalisée au niveau de l'ensemble de la forêt sur une base annuelle.

Site traditionnel : Site d'Alghero

Localiser et encadrer le site d'intervention

Le deuxième site d'intervention, appelé Pineta di Punta Negra, est situé sur la côte d'Alghero (nord-ouest de la Sardaigne), à l'est du village de Fertilia et couvre une superficie brute de plus de 67 ha.

La zone est incluse parmi les zones d'intérêt forestier en raison de la présence de peuplements à prédominance de conifères d'origine artificielle créés à des fins de protection des sols après la Seconde Guerre mondiale ; ces peuplements appartiennent à la catégorie des "forêts méditerranéennes pures ou mixtes de conifères d'origine artificielle". Au sein du complexe forestier, en abandon de culture depuis plus de 15 ans jusqu'en 2018, il y avait des zones de densité excessive par rapport à l'âge, et des zones affectées par des phénomènes de dégradation d'origine biotique. Les zones non affectées par des peuplements arborés sont caractérisées par des formations de fourrés côtiers thermo-xérophiles qui, en fonction de leur localisation, prennent des caractéristiques physiologiques et structurelles différentes ; dans les zones les plus proches du littoral, on trouve des formations basses, denses et compactes avec une prédominance de *Pistacia lentiscus*, *Chamaerops humilis*, *Rosmarinus officinalis* et *Lonicera implexa* façonnées par les vents dominants. En revanche, dans les zones moins exposées et plus intérieures, on trouve des formations plus développées atteignant 3-4 m, toujours très denses, compactes et impénétrables, dans lesquelles *Pistacia lentiscus* est associé à *Olea oleaster* et *Calicotome villosa*. Les principaux facteurs critiques au moment de la planification des interventions sont l'abandon des cultures, la présence de dommages d'origine biotique et abiotique sur la composante arborée et la pression anthropique due à l'absence de formes adéquates de régulation de l'utilisation.

Un chantier forestier a été organisé sur cette zone, dont l'objectif principal était d'améliorer la résistance et la résilience des systèmes forestiers face aux incendies par des interventions sylvicoles diversement modulées. Le site comprenait principalement quatre modules sylvicoles : le module de démarrage, plus complexe, le module de renaturalisation, le module phytosanitaire et le module de parc forestier.

Les travaux ont été réalisés au cours de deux années sylvicoles successives : au cours de la première année (année sylvicole 2020-21), des interventions essentiellement phytosanitaires ont été réalisées sur l'ensemble de la surface (environ 67 ha) et la sécurisation des espaces à vocation récréotouristique sur une surface nette d'environ 2 ha (gestion forestière du parc). Au cours de la deuxième année (2021-2022), l'intervention sylvicole a porté sur des peuplements plus ou moins denses (par rapport à l'âge) de *Pinus pinea* et de *Pinus halepensis* sur une superficie de plus de 6 ha. Les deux années, les pare-feux et les avenues ont été entretenus, une activité de routine réalisée au niveau de l'ensemble du corps forestier sur une base annuelle.

Site de démonstration : site de Putifigari (en collaboration avec le partenaire CNR - IBE)

Localiser et encadrer le site d'intervention

Le site, brièvement nommé Putifigari, est situé au nord-ouest de la Sardaigne, dans la localité de Su Terru Ruiu, dans la campagne d'Uri (SS). Il s'agit d'une zone à vocation sylvopastorale particulièrement représentative de nombreuses zones en Sardaigne. Ces zones, utilisées à des fins agro-pastorales jusque dans les années 70 puis progressivement abandonnées, ont dans plusieurs cas subi des reboisements à but principalement protecteur, plus rarement productif. Dans ce cas précis, à la fin des années 1980, cette zone appartenant à la municipalité a fait l'objet d'un reboisement avec des fonds publics dans le cadre d'actions visant à récupérer des zones qui avaient été abandonnées pour la culture en raison de l'évolution des conditions socio-économiques.

Selon la classification du territoire agro-forestier adoptée par la Région Sardaigne, les peuplements faisant l'objet de l'intervention entrent dans la catégorie forestière des "bois de conifères méditerranéens

purs ou mixtes d'origine artificielle". D'un point de vue physiognomique structurel, les peuplements peuvent être qualifiés de "formations à prédominance de pin d'Alep", même s'il s'agit de plantations mixtes de conifères (*Pinus halepensis*) et de feuillus (*Quercus suber*) créées dans les années 1980. D'un point de vue sylvicole, les peuplements peuvent donc être classés comme des plantations mixtes de conifères et de feuillus, dans lesquelles la composante conifère, au stade de la perticaia - jeune forêt, assume le rôle de peuplement de transition avec la fonction de bailliage par rapport aux feuillus (*Quercus suber*), tout en donnant à l'ensemble du peuplement une physiognomie claire. A moyen-long terme, la forêt de chêne-liège constituera donc le peuplement définitif, qui, comme on le sait, représente l'une des catégories forestières les plus représentatives de la Sardaigne, particulièrement résistante et résiliente aux incendies.

Sur cette zone, un site de démonstration a été organisé sur une surface brute d'environ 5 ha : l'objectif principal des interventions menées était d'améliorer la résistance et la résilience des peuplements forestiers au feu par une action sylvicole active.

Le site a été choisi parce que trois types de forêt représentatifs de nombreuses zones de la Sardaigne à vocation sylvopastorale étaient présents sur une surface relativement petite : (i) peuplements denses de conifères en abandon de culture présentant un niveau élevé de simplification structurelle et fonctionnelle (densité excessive, forte atténuation de la composante feuillue exercée par la composante conifère, forte accumulation de litière indécomposée en raison du faible renouvellement de la substance organique) ; (ii) les peuplements avec des processus de renaturalisation qui sont maintenant consolidés à la suite d'interventions sylvicoles réalisées dans le passé sur la base des modules sylvicoles les plus cohérents ; (iii) les peuplements dans une situation intermédiaire avec des processus de renaturalisation qui doivent être soutenus par des interventions sylvicoles.

De même, dans le cas du site de démonstration, toutes les opérations ont été réalisées en économie avec le personnel de l'Agence FoReSTAS. Toutes les opérations de culture ont été menées par un groupe de travail composé d'un contremaître, d'un opérateur qualifié pour l'utilisation des outils vibrants et de deux opérateurs généraux pour le rangement des matériaux prélevés et pour l'élimination ultérieure des matériaux restants. Les travaux ont été réalisés dans les règles de l'art sur la base de la fiche de projet, autorisée par l'Autorité forestière et articulée selon les prescriptions/indications de la Direction des travaux (également interne à l'Administration).

2.3.2. Conditions d'application territoriale

Site d'Arborea

L'intervention a été réalisée sur une zone plate du littoral d'Arborea, constituée à l'origine d'un cordon dunaire, modifié à la suite de travaux de reforestation. Il s'agit donc d'une zone plate au substrat sableux sur laquelle se trouve une pinède qui, malgré son origine artificielle, est aujourd'hui l'habitat prioritaire 2270* : Dunes avec forêts de *Pinus pinea* et/ou *Pinus pinaster*, étant inclus dans le réseau Natura 2000.

La zone est caractérisée par un climat méditerranéen typiquement semi-aride, avec des précipitations annuelles relativement faibles d'un peu plus de 500 mm à l'IAPE et une température annuelle moyenne d'environ 16-17 °C.



Figure 16. Localisation du site de l'Arborea - zone d'intervention touchant trois compartiments de l'Arborea Terralba Coastal Pinewood Compendium



Figure 17. Zone sur laquelle des interventions sylvicoles visant à atténuer les risques d'incendie ont été réalisées et où il y avait des peuplements stratifiés caractérisés par une continuité verticale entre les niveaux d'arbustes, d'arbres bas et d'arbres hauts.



Figure 18. Zone sur laquelle des peuplements denses de *Pinus pinea* (au stade de forêt) ont été déplacés.

En ce qui concerne les conditions d'accessibilité pour l'exécution des travaux, la zone ne présentait aucun problème en raison de la présence de coupe-feu praticables et de pistes de tracteurs capables d'assurer un accès rapide et sûr à la zone du chantier.

En ce qui concerne la valeur multifonctionnelle des peuplements présents, il existe dans la zone divers instituts de protection naturaliste (SIC et ZPS du réseau Natura 2000), de protection du paysage (art. 136 et 142 décret législatif n° 42 du 22 janvier 2004) et de protection du sol (contrainte hydrogéologique en vertu du décret royal 3267 du 31 décembre 1923). En référence aux institutions de protection présentes, le projet exécutif a été approuvé selon la procédure de la Conférence des Services. Il faut noter que depuis plus d'une décennie, les interventions réalisées dans le Compendium forestier pour la valorisation multifonctionnelle des peuplements et pour la mitigation des risques d'incendie ont été présentées aux communautés locales à travers des moments participatifs soutenus et activés en collaboration avec les administrations municipales d'Arborea et de Terralba.

Tout le travail a été réalisé en économie avec le personnel de l'Agence FoReSTAS, qui était sous contrat permanent dans les rôles régionaux. En ce qui concerne les opérations d'éclaircie, le chantier était organisé de manière traditionnelle : un contremaître, un opérateur qualifié pour l'utilisation des outils

vibrants, deux ou trois opérateurs généraux pour le rangement des matériaux récoltés et leur évacuation ultérieure par déchiquetage sur place. L'organisation du travail dans la forêt mature de *Pinus pinea* et *Eucalyptus rostrata* était un peu plus articulée. Dans ce cas, la composition de l'équipe a assuré la présence de deux opérateurs qualifiés pour l'utilisation d'outils vibrants (tronçonneuses), de deux opérateurs généralistes pour la mise en place du matériel d'intérêt commercial (bois de chauffage) et des déchets, puis de deux opérateurs pour l'enlèvement des déchets par déchiquetage avec rejet sur place. Les travaux ont été exécutés selon les règles de l'art sur la base des dispositions du projet exécutif (approuvé lors de la conférence des services par tous les sujets chargés d'émettre des avis et des autorisations) et des prescriptions - indications de la Direction des travaux (également internes à l'Administration).

Site d'Alghero

L'intervention, comme nous l'avons mentionné, a été réalisée sur une zone sub-plate descendant vers la mer qui avait été presque entièrement reboisée depuis les années 1950 à des fins de protection (Figure 19).



Figure 19. La zone d'intervention du site d'Alghero concerne le corps de Punta Negra de la forêt domaniale de Porto Conte.

Aujourd'hui, cette zone revêt une importance considérable du point de vue du tourisme de loisirs, car elle est située derrière certaines des principales plages du littoral d'Alghero. Récemment, la zone a été valorisée d'un point de vue touristique et récréatif avec la mise en place par le Parc Naturel Régional de Porto Conte d'une série de sentiers naturels utilisables toute l'année. Il s'agit donc d'une zone d'interface entre les forêts et les zones d'intérêt récréo-touristique important, qui nécessite des formes de gestion axées sur l'atténuation du risque d'incendie, car les peuplements présents sont très vulnérables aux incendies.

Les conditions d'accessibilité sont très bonnes et ont permis l'exécution des interventions prévues sans obstacles particuliers.

Comme le site d'Arborea, cette zone est également soumise à plusieurs protections de la nature (SIC et ZPS du réseau Natura 2000), du paysage (art. 136 et 142 du décret législatif n° 42 du 22 janvier 2004) et du sol (contrainte hydrogéologique en vertu du décret royal 3267 du 31 décembre 1923), pour lesquelles le

projet exécutif a été approuvé lors de la conférence des services. La communauté des parties prenantes a été informée du projet par le biais du portail Regione Sardegna Foreste, montrant un intérêt pour les actions de sauvegarde des pinèdes côtières depuis 2011, lorsque la Région de Sardaigne a activé un programme dédié à leur restauration et à leur récupération fonctionnelle.

Comme dans le cas du site d'Arborea (et de toutes les zones relevant du domaine forestier régional), les travaux ont été réalisés en régie (administration directe) par l'agence FoReSTAS, qui a également supervisé les travaux. Le chantier, pour tous les types de travaux, était organisé de manière traditionnelle : un contremaître spécialisé, un opérateur pour la conduite des machines utilisées pour l'entretien des routes et des coupe-feu/brise-feux, deux opérateurs qualifiés pour l'utilisation des outils vibrants (tronçonneuses, ébrancheurs, débroussailleuses à dos), deux opérateurs généraux pour le rangement du matériel d'intérêt commercial (bois de chauffage) et des déchets et leur élimination ultérieure par déchiquetage. Les travaux ont été réalisés dans les règles de l'art sur la base des dispositions du projet exécutif (approuvé lors de la conférence des services par toutes les parties chargées d'émettre des avis et des permis) et des prescriptions/indications de la direction des travaux.

Site de Putifigari

L'intervention a été réalisée sur une zone subplate de l'ensemble boisé, qui présentait en tant que telle d'excellentes conditions d'accessibilité en raison de la présence d'une piste forestière marquant sa limite sud. La présence de petits affleurements rocheux n'a pas conditionné les opérations de culture. Le complexe forestier, qui s'étend sur une superficie brute d'environ 50 ha, est protégé en raison de la présence de la forêt, qui est considérée comme un bien paysager en vertu de l'article 142 du décret législatif 42/2004. En outre, étant donné qu'il s'agit d'une zone appartenant à la municipalité, elle fait partie de celles qui sont protégées par le décret législatif royal 3267 de 1923. En ce qui concerne les institutions de protection présentes, les interventions ont été réalisées sur la base d'une fiche de projet spéciale en cohérence avec les prescriptions générales en vigueur au niveau régional et autorisées par l'Autorité forestière.



Figure 20. Localisation du site de Putifigari

2.3.3. Évaluation : efficacité par rapport à l'objectif de l'intervention, durée estimée ou mesurée, coûts réels par rapport aux coûts budgétés

Site d'Arborea

Évaluation de l'intervention sylvicole sur la forêt mixte de pins de *Pinus pinea* et *Eucalyptus rostrata*

Évaluation de l'intervention sylvicole sur la forêt mixte de pins de *Pinus pinea* et *Eucalyptus rostrata*.

L'un des principaux points critiques relevés dans le compendium forestier, avec une référence particulière au risque d'incendie, était la présence de peuplements mixtes avec une structure stratifiée dans laquelle la couche dominante était représentée par le *Pinus pinea* et celle dominée par l'*Eucalyptus*, cette dernière étant à son tour en contact avec une formation forestière de broussailles évoluées. L'objectif de l'intervention était donc d'améliorer la résistance au feu du système forestier en créant une rupture verticale entre les différentes couches (arborescente haute, arborescente basse, arbustive, herbacée).

L'articulation de l'intervention et les modalités opérationnelles sont décrites ci-dessous.

Plan de l'arbre dominant : exécution d'une éclaircie sélective d'individus de *Pinus pinea* en voie de disparition. L'intervention a permis d'éliminer la nécromasse sur pied.

Plan arboricole dominé : élimination totale du plan arboricole dominé constitué de drageons d'*Eucalyptus*, ainsi que des drageons codominants. Outre la réduction de la biomasse potentiellement combustible et l'augmentation de la résistance au feu du système forestier, l'intervention contribue également au fil du temps à réduire la vitalité des souches d'*eucalyptus*, qui sont désormais en forte concurrence avec les individus de *Pinus pinea*.

Plan arbustif : Dans la bande de contact avec les zones utilisées pour le tourisme et les loisirs, sur une largeur minimale de 5 m (5-10 m), la composante arbustive a été contrôlée, en donnant la priorité à la composante moyenne-haute (> 1,5- 2 m) au pied des sujets arborés.

Bois mort : Enlever le bois mort du sol

Méthode d'exécution des interventions

La composante arbustive a été contrôlée peu avant la fin de la saison forestière (mars), à l'aide de tronçonneuses légères (type Stihl MS 201 T) ou de débroussailleuses forestières montées à l'arrière et équipées d'un couteau forestier ou, dans certains cas, d'une scie circulaire à dents trapézoïdales. Les travaux sur l'eucalyptus ont été réalisés en février ; le matériel d'intérêt commercial (bois de chauffage), une fois mis en place, a été enlevé à l'aide de brouettes à chenilles légères et concentré dans des zones indiquées par la Direction des travaux et concédées aux communautés locales selon la réglementation en vigueur. Les résidus des opérations de culture ont été éliminés en les broyant sur place à l'aide de bio-broyeurs.

Évaluation d'une intervention sylvicole sur une forêt de pins en cours de régénération

La conservation active des forêts de pins repose sur le soutien des processus de régénération naturelle. Au cours de l'expérimentation, des noyaux de régénération naturelle particulièrement denses établis après un incendie dans une section de dix hectares de forêt de pins en 2006 ont été déplacés.

L'intervention a été réalisée dans un double but : réduire la compétition intraspécifique et atténuer le risque d'incendie.

Plan d'arbres bas : sélection de sujets d'avenir sûrs et élimination des plantes concurrentes ; taille légère sur les sujets libérés.

Plan d'arbustes : contrôle de la végétation arbustive dans l'environnement immédiat de l'objet à libérer.

Méthode d'exécution des interventions : En ce qui concerne l'intervention sur la composante arborescente, celle-ci a été effectuée manuellement avec un billhook type Sardinia en présence de petits diamètres de cols et avec une tronçonneuse légère pour les sujets plus grands. Comme pour le contrôle de la végétation arbustive, l'intervention a été réalisée manuellement. L'ensemble du matériel prélevé (composante régénération et arbuste) a été déchiqueté sur place et réparti sur la surface traitée en orientant de manière cohérente la décharge du bio-broyeur utilisé.

Coût des interventions

Sur la base des relevés effectués lors de l'expérimentation, le coût moyen des opérations sylvicoles pour l'atténuation du risque incendie est estimé à 2 100 € ha.⁻¹ y compris les frais d'enlèvement des débris ; pour les opérations de déblaiement, le coût moyen estimé était de 1 500 €/ha.⁻¹ y compris les frais d'élimination du matériel résultant. Il convient de mentionner que les interventions ont été réalisées en administration directe avec du personnel qualifié et spécialisé de l'Agence FoReSTAS.

Localité	Municipalité	Travaux réalisés en économie directe (personnel interne à l'organisation)	Travaux réalisés par un entreprise externe (Marché public)	Nombre d'ha par intervention (ha)	Montant (€)	Coût Unitaire par ha (€/ha)
Pineta litoranea di Arborea / Terralba	Arborea	X		4,41	22.326,65	5.063

Site d'Alghero

Évaluation d'une intervention sylvicole sur une forêt de pins en cours de régénération

La conservation active des forêts de pins repose sur le soutien des processus de régénération naturelle. L'intervention, sur des noyaux de régénération naturelle très denses, a été réalisée dans un double but : réduire la compétition intraspécifique et atténuer le risque d'incendie.

Plan d'arbres bas : sélection de sujets d'avenir sûrs et élimination des plantes concurrentes ; élagage léger sur les sujets libérés.

Plan d'arbustes : contrôle de la végétation arbustive dans l'environnement immédiat de l'objet à libérer.

Méthode d'exécution des interventions

Pour la composante arboricole, l'intervention manuelle a été effectuée avec des crochets de type sarde dans le cas de petits diamètres de cols, et avec des tronçonneuses légères pour les sujets plus grands. Sur la végétation arbustive, une intervention manuelle a été réalisée. Tout le matériel prélevé (composante régénération et arbuste) a été déchiqueté sur place et réparti sur la zone traitée.

Coût des interventions

Sur la base des relevés effectués lors de l'expérimentation, le coût moyen des opérations sylvicoles pour l'atténuation du risque incendie est estimé à 2 100 € ha.⁻¹ y compris les frais d'enlèvement des débris ; pour les opérations de déblaiement, le coût moyen estimé était de 1 500 €/ha.⁻¹ y compris les frais

d'élimination du matériel résultant. Il convient de noter que les interventions ont été réalisées en administration directe avec le personnel qualifié et spécialisé de l'agence FoReSTAS.

Site d'Alghero

Module de coupe phytosanitaire

Comme nous l'avons déjà mentionné, l'un des principaux points critiques constatés dans la pinède de Punta Negra est le phénomène de décomposition d'origine biotique qui affecte des plantes individuelles ou, plus souvent, des groupes de plantes, avec pour conséquence la présence de grandes quantités de nécromasses au sol et sur pied. Sur la base des enquêtes réalisées pendant la phase de préparation du projet, il a été observé que les principaux dégâts étaient imputables aux attaques d'insectes xylophages du genre *Tomicus*, qui avaient principalement affecté les formations à prédominance de *Pinus pinea*. Pendant la première saison forestière, l'intervention a inclus l'élimination des nécromasses sur pied et au sol, encadrant cette activité parmi les actions phytosanitaires visant à atténuer le risque d'incendie. Pour l'élimination du matériel prélevé avec les coupes phytosanitaires, on a eu recours au déchiquetage et, dans plusieurs cas, au brûlage contrôlé dans des fosses aménagées sur place. Aucun phénomène de détérioration attribuable aux attaques entomatiques n'a été observé lors de la saison forestière qui a suivi l'intervention.

Module de démarrage plus complexe

L'action de démarrage pour une plus grande complexité concernait les stands avec un haut degré de simplification structurelle. Les principaux indicateurs de la simplification de ces peuplements étaient leur forte densité, leur composition monospécifique, leur structure tendancielle monoplane, le faible renouvellement de la substance organique avec la présence de litière non décomposée d'épaisseur variable de plus de 10 cm, et la présence de grandes quantités de nécromasse. L'action de démarrage de plus grande complexité a été activée principalement par des interventions d'éclaircissement par le bas de degré modéré. L'intervention a été modulée avec une extrême prudence afin d'éviter une croissance excessive soudaine, avec des éclaircies ne dépassant pas 20-25% en termes de surface basale dans les plans dominés et codominants. L'éclaircissement était toujours associé à l'éclaircissement des plantes libérées afin d'assurer une rupture verticale entre l'état d'arbre et d'arbuste. Le matériel d'intérêt commercial (bois de chauffage), une fois mis en place, était exbusqué au moyen de transporteurs à chenilles jusqu'aux pistes de tracteurs et de là jusqu'à la fourrière pour être commercialisé selon la réglementation en vigueur. L'intervention a permis d'améliorer la résistance du peuplement au passage du feu ; tous les résidus des opérations culturales ont été déchiquetés avec distribution du matériel sur place sans créer de situations d'accumulation.

Module de soutien aux processus de renaturalisation

Dans la zone du site, les processus de renaturalisation en cours sont évidents, ce qui est particulièrement intéressant dans les zones où des travaux de culture ont été effectués dans un passé récent ou dans celles

où les conifères se sont effondrés (à cause du vent ou de dommages biotiques). L'initiation de successions végétales et, par endroits, leur établissement ont été observés dans toutes les zones étudiées, en particulier en présence de peuplements matures de *Pinus halepensis* et, dans une moindre mesure, de peuplements matures de *Pinus pinea*. Les processus de renaturalisation sont particulièrement bien établis dans les zones marginales de la pinède où l'on trouve des fourrés d'*Olea oleaster* associés aux formations arbustives typiques dominées par *Pistacia lentiscus* et *Chamaerops humilis*. Dans ces contextes, en présence de noyaux d'*Olea oleaster* particulièrement vigoureux, des coupes de bordure ont été effectuées sur des conifères. L'effet résultant a été de favoriser le développement de formations naturelles plus résistantes au facteur de perturbation qu'est le feu. Dans ce cas également, le matériel d'intérêt commercial constitué de bois de chauffage, une fois mis en place, était exbusqué au moyen de brouettes jusqu'au bord des pistes du tracteur et de là jusqu'au piquet où il était commercialisé. Les résidus des opérations culturales ont été broyés au moyen de bio-broyeurs et relâchés sur le site.

Module de gestion des parcs forestiers

Comme mentionné dans la section précédente, cette forêt de pins présente un intérêt pour le tourisme récréatif, de sorte que l'une des principales questions critiques dans la gestion de ces peuplements est la forte charge anthropique. Dans ces contextes fortement anthropisés, la gestion des peuplements forestiers est mise en œuvre selon les directives de la sylviculture urbaine et périurbaine ou de la sylviculture de parc : l'élimination de la strate arbustive, la création de bandes de protection active dans les zones de contact avec les zones d'autres usages, la mise en œuvre d'opérations d'éclaircie pour éviter le contact entre les couronnes des individus isolés, la mise en œuvre de coupes phytosanitaires et la récupération des dégâts, constituent les opérations réalisées au cours du projet dans une zone de démonstration d'environ 2 ha derrière la plage principale de la zone.

Coût des opérations

Sur la base des relevés effectués au cours de l'essai, le coût moyen des opérations sylvicoles pour l'atténuation du risque incendie est estimé à 2 300 € ha.⁻¹ y compris les frais d'enlèvement des débris. Il convient de noter que tous les types d'intervention ont été menés en administration directe avec le personnel général, qualifié et spécialisé de l'Agence FoReSTAS.

Localité	Municipalité	Travaux réalisés en économie directe (personnel interne à l'organisation)	Travaux réalisés par un entreprise externe (Marché public)	Nombre d'ha par intervention (ha)	Montant (€)	Coût Unitaire par ha (€/ha)
Punta Negra	Alghero	X		9,15	27.999,50	3.060

Site de Putifigari

Les modalités de mise en œuvre des interventions et leur évaluation

Comme mentionné dans la présentation du site, les interventions culturales réalisées à des fins de démonstration dans la zone d'intérêt visaient à améliorer la résistance et la résilience des systèmes forestiers face au feu. Les peuplements de référence étaient représentatifs à la fois de peuplements présentant un haut niveau de simplification et de peuplements présentant un degré de complexité variable en fonction des processus de renaturalisation activés ou désormais consolidés par les interventions sylvicoles précédentes. Les opérations culturales réalisées sont décrites et évaluées ci-dessous. Pour l'évaluation de l'efficacité des interventions en termes de quantification et d'évolution de la charge combustible, veuillez vous référer à la section spécifique du manuel.

Plot 1. Des peuplements extrêmement simplifiés dominés par les conifères

Caractérisation des peuplements soumis à l'intervention

Les peuplements étaient caractérisés par une densité excessive par rapport au stade de développement de la perticaia - jeune forêt. La densité de la composante conifère était d'environ 1 400 plants ha⁻¹ avec la présence d'une forte contingence de sous-bois et d'individus sans avenir appartenant aux classes de 5 à 15 cm de diamètre. L'abandon de la culture a également contribué à une réduction significative de la composante dicotylédone de la plante (liège), qui, au moment de l'intervention, était dans une condition végétative précaire et s'élevait à environ 120 plantes ha⁻¹. La surface terrière du peuplement principal (conifères), utilisée comme indicateur de la biomasse présente, était d'environ 50 m² ha⁻¹, avec une quantité considérable de nécromasse constituée de plantes en décomposition ou mortes et de branches sèches insérées en contact immédiat avec la composante arbustive, elle aussi plutôt clairsemée.

Caractérisation de l'intervention. L'intervention réalisée est canoniquement encadrée comme une intervention d'éclaircissement par le bas de degré modéré qui a agi sur le plan dominé et codominant. L'intervention réalisée a permis de retirer 45% des plantes présentes, ce qui correspond à un retrait d'environ 19% en termes volumétriques. Aucune grande ouverture n'a été créée, et ce n'est que localement, en présence de lièges particulièrement vigoureux, que de petits trous ont été ouverts pour favoriser leur développement. La concentration et l'exhumation ultérieure du matériel prélevé ont également permis de retirer des quantités considérables de litière non décomposée, essentiellement constituée d'aiguilles de pin. En correspondance avec la voie de desserte, en présence de formations denses et compactes de maquis méditerranéen, la composante arbustive a ensuite été complètement enlevée sur une profondeur d'environ 3 m, uniquement à des fins de lutte contre les incendies.

Articulation opérationnelle de l'intervention

L'intervention culturale s'articulait comme suit : a) abattage des plantes martelées et préparation du matériel d'intérêt commercial (par rapport au type de matériel prélevé et au marché local, les

assortiments se réfèrent uniquement et exclusivement au bois de chauffage) ; b) extraction du matériel d'intérêt commercial au moyen de brouettes à moteur ; c) concentration des résidus végétaux et leur élimination par brûlage contrôlé.

Évaluation globale

L'intervention dans son ensemble vise à améliorer la résistance au feu du peuplement et, à moyen et long terme, à améliorer sa résilience.

Principaux résumés dendrométriques (omis pour le moment mais disponibles)

Plot 2. Interventions pour consolider les processus de renaturalisation

Caractérisation des peuplements

Les peuplements mixtes d'origine artificielle de pin d'Alep et de chêne-liège étaient caractérisés par une structure verticale clairement biplan ; la composante conifère constituait le plan d'arbre dominant (hauteur moyenne de 14,0 m) tandis que le liège était le plan dominant (hauteur moyenne de 5,3 m). En ce qui concerne la densité, qui était adéquate par rapport au stade de développement, elle était d'environ 200 plantes ha⁻¹ pour le composant conifère et de plus de 500 plantes ha⁻¹ pour le liège, avec une différenciation diamétrale élevée (de la classe diamétrale de 5 cm à celle de 20 cm), conséquence directe des interventions culturales réalisées au cours des quinze dernières années et documentées par l'Autorité de gestion.

Caractérisation de l'intervention

L'intervention réalisée est canoniquement encadrée comme une éclaircie mixte d'un degré intense en prévision d'un futur déconiféragé. L'intervention réalisée a eu un impact considérable sur la composante résiduelle de conifères (plus de 50% des plantes présentes), correspondant à un prélèvement égal à 60% du volume sur pied (environ 30 m³ ha⁻¹) : Dans certains tronçons, le peuplement final constitué d'une forêt de chêne-liège d'origine artificielle est presque pur. La concentration et l'extraction ultérieure du matériel prélevé ont également permis de retirer des sections de litière de pin. Dans cette parcelle également, en correspondance avec la route de service, la composante arbustive a été complètement enlevée jusqu'à une profondeur d'environ 3 m, uniquement à des fins de lutte contre les incendies.

Articulation opérationnelle de l'intervention

L'intervention culturale s'est articulée comme dans la parcelle précédente : a) abattage des plantes martelées et préparation du matériel d'intérêt commercial (bois de chauffage) ; b) extraction du matériel d'intérêt commercial au moyen de brouettes à moteur ; c) concentration des résidus végétaux et leur élimination par brûlage contrôlé.

Évaluation globale

L'intervention dans son ensemble est configurée comme une intervention visant à améliorer la résilience du peuplement aux incendies ; à moyen terme, grâce à des interventions culturales cohérentes, il est prévu que le peuplement évolue vers un type de forêt se référant à la forêt de chêne-liège, une formation résistante et résiliente aux incendies. Comme il s'agit de formations infra-ouvertes qui peuvent être facilement recolonisées par la végétation herbacée et arbustive en premier lieu, la gestion des biomasses

potentiellement combustibles peut être facilement poursuivie par le biais d'un pâturage contrôlé (bovins et ovins), en régulant les charges et les temps de pâturage en fonction de la disponibilité du fourrage.

Plot 3. Interventions pour soutenir les processus de renaturalisation activés

Caractérisation des peuplements

Les peuplements de la parcelle 3 ne diffèrent pas sensiblement de ceux de la parcelle 2 ; il s'agit toujours de peuplements d'origine artificielle mélangés à du pin d'Alep et du chêne-liège avec une structure verticale biplan, les conifères constituant le plan d'arbre dominant (hauteur moyenne de 14,2 m) et le liège le plan dominant (hauteur moyenne de 4,5 m). Contrairement aux peuplements de la parcelle 2, la densité de la composante conifère était légèrement plus élevée (320 plants ha⁻¹), ce qui témoigne d'une intensité moindre en termes de récolte des opérations culturales précédentes (celles effectuées au cours des 15 dernières années). En ce qui concerne le composant liège, la densité n'a pas été très différente de celle de la parcelle précédente (540 plantes ha⁻¹), mais avec un contingent élevé de plantes appartenant à la classe des 5 cm comme effet de la plus grande couverture exercée par le conifère.

Caractérisation de l'intervention

Dans ce cas, comme dans la parcelle 2, l'intervention réalisée est encadrée comme une éclaircie mixte d'un degré intense en prévision d'une déconfiture totale. L'intervention réalisée a considérablement affecté la composante résiduelle de conifères (plus de 43% des plantes présentes) correspondant à une suppression de 53% du volume sur pied. Dans certains tronçons, le peuplement final constitué d'une forêt de chêne-liège d'origine artificielle est presque pur. La concentration et l'enlèvement ultérieur du matériel prélevé ont également permis d'éliminer des tronçons de litière de pin ; en correspondance avec la route de service, comme dans les autres parcelles, la composante arbustive a été complètement enlevée jusqu'à une profondeur d'environ 3 m, uniquement à des fins de lutte contre les incendies. En ce qui concerne l'articulation opérationnelle de l'intervention et de l'évaluation globale, veuillez vous référer aux considérations déjà faites pour le plot 2.

Coût des interventions

Sur la base des relevés effectués au cours de l'essai, le coût moyen des opérations sylvicoles pour l'atténuation du risque incendie est estimé à 3 000 € ha.⁻¹ y compris les frais d'enlèvement des débris sur le premier site (éclaircie par le bas combinée au débroussaillage pour les sujets libérés) et 1.500 € ha⁻¹ pour des interventions visant à soutenir les processus de renaturalisation. Les interventions ont été réalisées en administration directe avec du personnel qualifié et spécialisé de l'Agence FoReSTAS.

Localité	Municipalité	Travaux réalisés en économie directe (personnel interne à l'organisation)	Travaux réalisés par un entreprise externe (Marché public)	Nombre d'ha par intervention (ha)	Montant (€)	Coût Unitaire par ha (€/ha)
Terru-Ruiu	Putifigari	X		1,5	5.268,75	3.513



Figure 21. a,b Localité Su Terru Ruiu. Site 1 (avant et après l'intervention)

Pour le site de Putifigari, un suivi ex-ante et ex-post des interventions a également été réalisé selon la méthodologie du projet. Les graphiques des figures 22 et 23 montrent la moyenne des trois tracés.

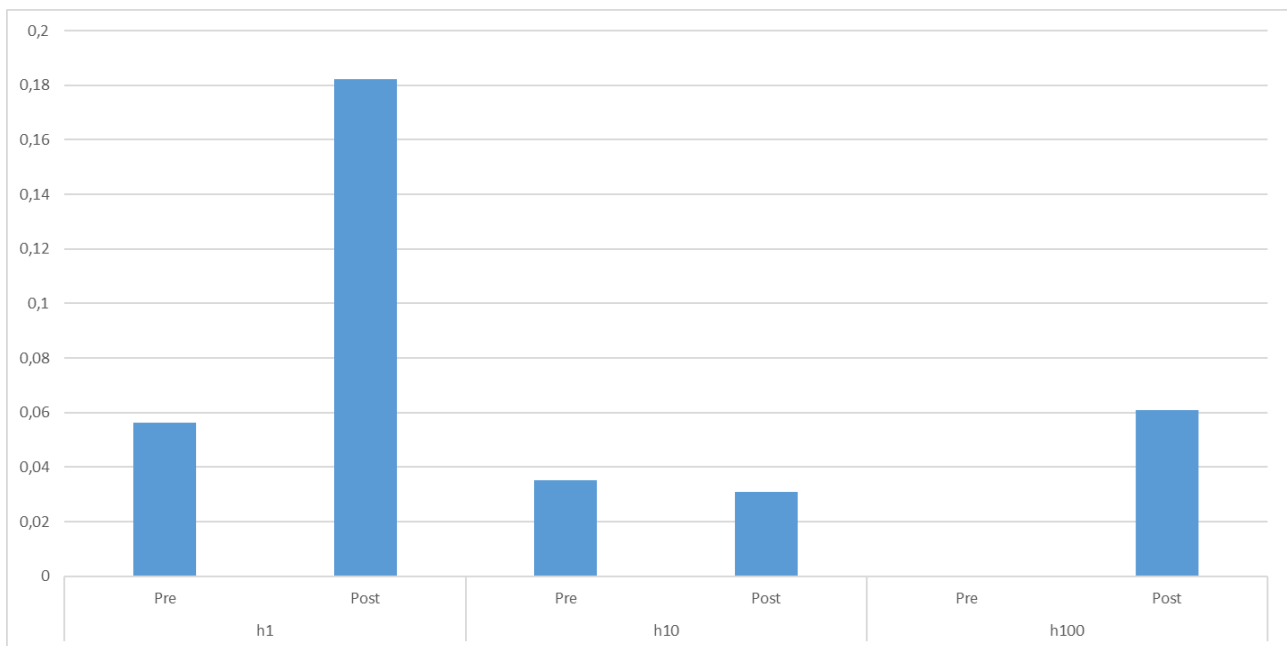


Figure 22. Variation du combustible forestier divisée en décalages temporels dans les zones de Putifigari.

Le graphique de la Figure 22 montre qu'en moyenne, le combustible fin après l'intervention a augmenté, alors que le combustible de taille moyenne (10h) est resté plus ou moins le même. Il faut également souligner qu'avant l'intervention, il n'y avait pas de combustible de grande taille (100h) sur le sol, alors qu'on en trouve après la construction du site. L'augmentation des petits combustibles (1h) et l'apparition des combustibles 100h est due aux restes d'utilisation qui sont inévitablement restés sur le terrain

pendant les interventions. Dans les conclusions, il sera démontré que ces éléments ne constituent pas réellement un risque accru d'incendie de forêt.

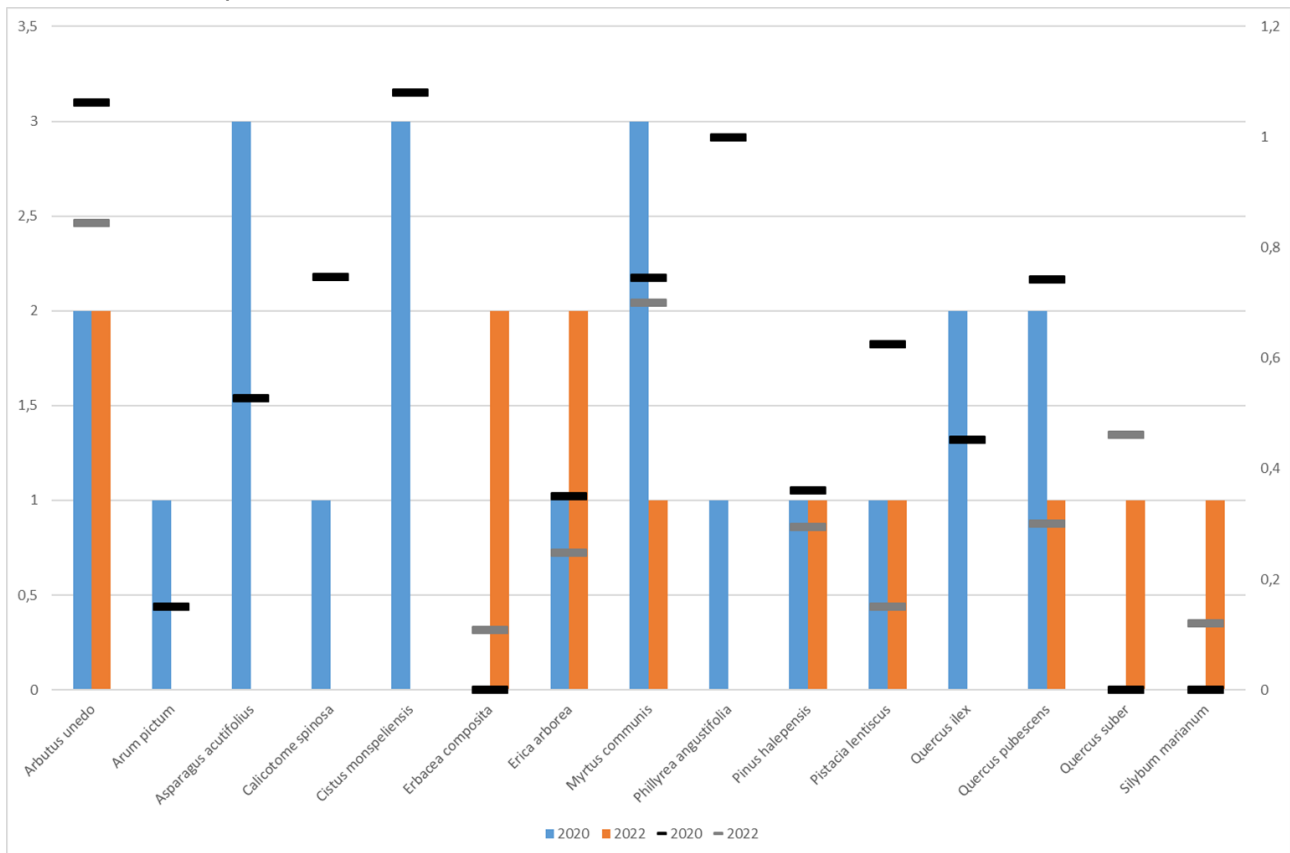


Figure 23. Variation de la composante végétation suite à des interventions à Putifigari. En bleu et orange la fréquence des différentes espèces et en noir et gris la hauteur moyenne atteinte par l'espèce.

La figure 23 montre la variation de la composante herbacée et arbustive tant en termes de nombre d'individus par espèce qu'en termes de hauteur atteinte. Suite à l'intervention, de nombreuses espèces ont disparu de l'étude (*Arum*, *Asparagus*, *Cistus*, *Phillyrea* et *Quercus ilex*) tandis que d'autres ont réduit leur présence. Dans une moindre mesure, de nouvelles espèces sont apparues à la suite de l'intervention (composite herbacé non défini, *Quercus suber* et *Silybum marianum*). Pour presque toutes les espèces présentes, avant et après l'intervention, une réduction de la hauteur a cependant été enregistrée.

Des mesures dendrométriques ex ante et ex post ont également été effectuées dans les trois zones de Putifigari. Les résultats montrent une légère augmentation de la hauteur moyenne des peuplements (9 m avant l'intervention, 9,1 m après l'intervention), mais surtout une augmentation substantielle de la hauteur d'insertion des couronnes (2 m avant et 3 m après l'intervention). L'augmentation de la hauteur d'insertion de la canopée diminue la probabilité d'un passage d'un feu de surface à un feu de couronne, obtenant ainsi un résultat positif pour la prévention des feux de forêt.

2.3.4. Synthèse Analyse Swot par territoire et technique

Site de "Arborea"

<p>Points forts</p> <ul style="list-style-type: none"> - Simplicité de la gestion d'un chantier en administration directe. - Possibilité d'introduire de petites variantes pendant la construction - Coûts relativement faibles - Continuité de la gestion forestière si elle est placée dans un contexte planifié 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> - Procédures d'autorisation plutôt complexes en présence d'instituts de protection de la nature et du paysage
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> - La prévention sylvicole des risques d'incendie comme partie intégrante de la gestion forestière planifiée - Mise en place de chantiers saisonniers dédiés à la prévention sylvicole - Transfert d'expériences par le biais de stages et d'événements de formation 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perception par certaines parties prenantes du faible caractère naturel des systèmes forestiers traités. - Episodicité des interventions en raison du manque d'incitations financières (se référant aux chantiers temporaires à but d'emploi).

Site d'Alghero

<p>Points forts</p> <ul style="list-style-type: none"> - Simplicité de la gestion d'un chantier en administration directe ; - Possibilité d'introduire de petites variations pendant la construction - Coûts relativement faibles - Continuité de la gestion forestière si elle est placée dans un contexte planifié 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> - Procédures d'autorisation plutôt complexes en présence d'instituts de protection de la nature et du paysage
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> - La prévention sylvicole des risques d'incendie comme partie intégrante de la gestion forestière planifiée - Création de sites saisonniers dédiés à la prévention sylvicole - Transfert d'expérience par le biais de stages et de formations 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perception par certaines parties prenantes du faible caractère naturel des systèmes forestiers traités - Episodicité des interventions en raison du manque d'incitations financières (se référant aux chantiers temporaires à but d'emploi)

3. Sylvopastoralisme

3.1 Toscane

3.1.1 Description de l'intervention mise en œuvre

Dans trois zones, des interventions ont été réalisées pour permettre le pâturage et notamment la construction ou l'entretien de clôtures. Les zones choisies pour ce type d'intervention sont celles où le pâturage était déjà présent, comme Podere Cerasa, ou dans tous les cas où il y avait dans la zone une disponibilité d'animaux à mener au pâturage. Dans les zones choisies, des interventions de défrichage ont été réalisées, notamment sur la composante arbustive la plus développée, pour permettre aux animaux d'avoir accès au fourrage.

Localisation	Municipalité	Montant
Foce del Termine	Pescaglia	13.700,00
Fumagna	Comano	4.020,00
Podere Cerasa	Pieve Fosciana	1.550,00

Tableau 9. Coût total de l'intervention de pâturage en Toscane par lieu

3.1.2. Conditions d'application territoriale

Ces zones sont toutes situées dans des régions montagneuses isolées, loin des centres de population. La gestion des pâturages est déléguée à des exploitations agricoles locales, seul moyen de garantir une présence constante sur le site. Du point de vue de l'autorisation, comme il ne s'agit pas de zones boisées, aucun permis n'est nécessaire.

3.1.3 Évaluation : efficacité par rapport à l'objectif de l'intervention, durée estimée ou mesurée, coûts réels par rapport aux coûts budgétés

L'évaluation des effets du pâturage dans la région de Toscane n'a été réalisée qu'à Fumagna et Foce del Termine. Bien qu'un suivi ait également été prévu à Podere Cerasa, dans ce cas, la cessation de l'activité agricole du berger a rendu impossible l'évaluation des effets. La zone située dans la commune de Comano a été pâturée par une trentaine de chevaux Franches-Montagnes provenant d'une ferme voisine. À la suite du défrichage mécanisé, une partie de la zone a été rendue disponible pour le pâturage, à l'exclusion des zones de contrôle et des zones destinées à l'évaluation des brûlage dirigés uniquement.

En revanche, la zone de Foce del Termine a été pâturée par des moutons conduits par le berger local au printemps 2022, et le suivi pour l'évaluation a été effectué au mois de juillet suivant.

Dans les deux zones, la situation avant pâturage montrait des signes d'écosystèmes abandonnés avec un compendium floristique représenté par quelques espèces herbacées typiques des pâturages dégradés comme le *Veratum nigrum* ou le nard, et des espèces arbustives épineuses comme l'églantier et le prunellier.

Suite à l'activité de pâturage, on peut observer une augmentation significative de la composition spécifique de la composante herbacée, comme le montre le graphique de la Figure 24.

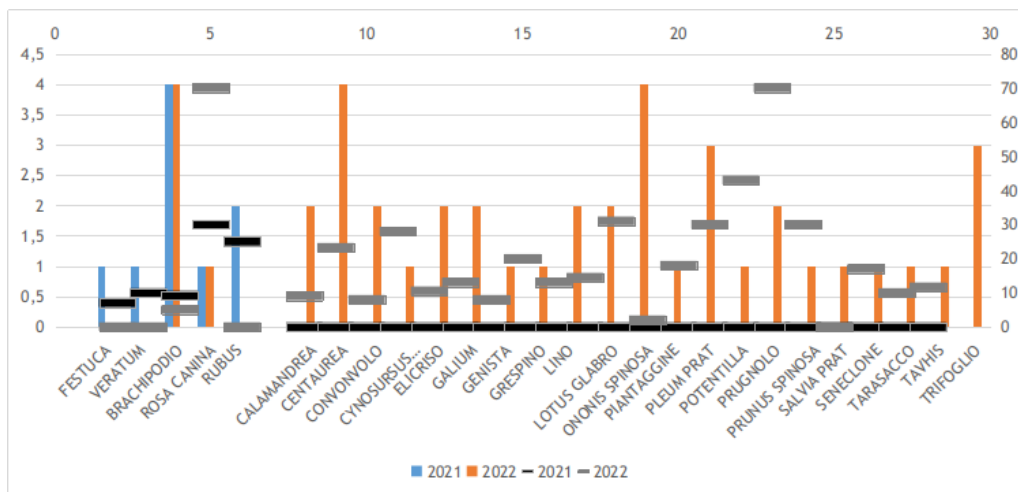


Figure 24. Variation de la composante herbacée et arbustive dans la zone de pâturage de Fumagna - fréquences spécifiques à gauche (colonnes bleues et oranges) et hauteurs moyennes des espèces dans la colonne de droite (lignes noires et grises).

Du point de vue des combustibles morts de surface, l'effet du pâturage n'a pas changé de manière significative, sauf dans la zone de Comano, où l'on a procédé à un défrichage et à l'enlèvement consécutif des déblais (brûlés ensuite sur le site du brûlage dirigé) pour permettre aux chevaux d'accéder au fourrage.

3.1.4 Synthèse Analyse Swot par territoire et technique

Points forts La technique n'est pas contestée par les associations environnementales	Faiblesses il est de plus en plus difficile de trouver des fermes locales qui peuvent garantir des pâturages
Opportunités Possibilités économiques liées aux chaînes d'approvisionnement courtes dans les zones rurales négligées.	Menaces le risque de sous-estimer les effets d'une charge excessive d'animaux et l'appauvrissement consécutif de l'offre trophique.

4. Combinaison de techniques

4.1 Toscane

4.1.2 Description de la combinaison de techniques éprouvées

Dans le chantier de loc. Fumagna a été expérimenté avec la combinaison de diverses techniques :

- intervention mécanisée suivie du brûlage dirigé et enfin du pâturage
- intervention mécanisée suivie du brûlage dirigé
- intervention mécanisée suivie de pâturage (rapporté dans le chapitre consacré au pâturage)

La première était l'intervention principale réalisée sur une grande surface, tandis que les deux autres ont été réalisées sur des zones d'échantillonnage de 2 000 m². Compte tenu de la répartition inégale des combustibles et des conditions à la limite de l'applicabilité du brûlage dirigé (humidité atmosphérique excessive qui obligeait les opérateurs à empiler les branchages en andains pour leur permettre de brûler), et d'avoir d'autres sites disponibles pour détecter l'efficacité des combinaisons de techniques avec le brûlage dirigé, dans la zone seuls les effets du pâturage en combinaison du traitement mécanique de réduction du combustible et du traitement mécanique seul, rapportés dans les chapitres précédents, ont été détectés.

La combinaison de l'intervention mécanisée suivie du brûlage dirigé a été testée sur le chantier de Monte Prana. Les deux interventions principales, réduction mécanique et brûlage dirigé, ont été accompagnées de l'intervention combinée précitée sur une petite surface à titre d'essai.

La combinaison de l'intervention mécanisée suivie du brûlage dirigé a également été testée sur le site de Foce del Termine. Les deux principales interventions, mécanisée suivie d'un brûlage dirigé et d'un brûlage dirigé, ont été accompagnées de zones d'essai avec la combinaison d'intervention de réduction mécanique et de pâturage.

La combinaison de l'intervention mécanisée suivie du brûlage dirigé a été testée sur le chantier de construction de Podere Cerasa.

L'intervention principale d'incendie prescrite était accompagnée de zones d'essai à la fois avec une intervention mécanisée et avec l'intervention combinée susmentionnée.

4.1.3 Conditions d'application pour le territoire

Les conditions d'applicabilité sont les mêmes que celles décrites précédemment pour les techniques individuelles.

4.1.4 Évaluation : efficacité par rapport à l'objectif de l'intervention, durée estimée ou détectée, coûts réels par rapport à ceux estimés

Dans toutes les zones où une combinaison de réduction mécanique et de brûlage dirigé a été testée, une augmentation des combustibles morts en surface est détectée dans les classes de taille supérieure (décalage de 10 et 100 heures), en raison du fait qu'en déchiquetant la composante arbuste est formé une couche de matière végétale au sol qui n'est que partiellement consommée pendant le brûlage dirigé (figure 25).

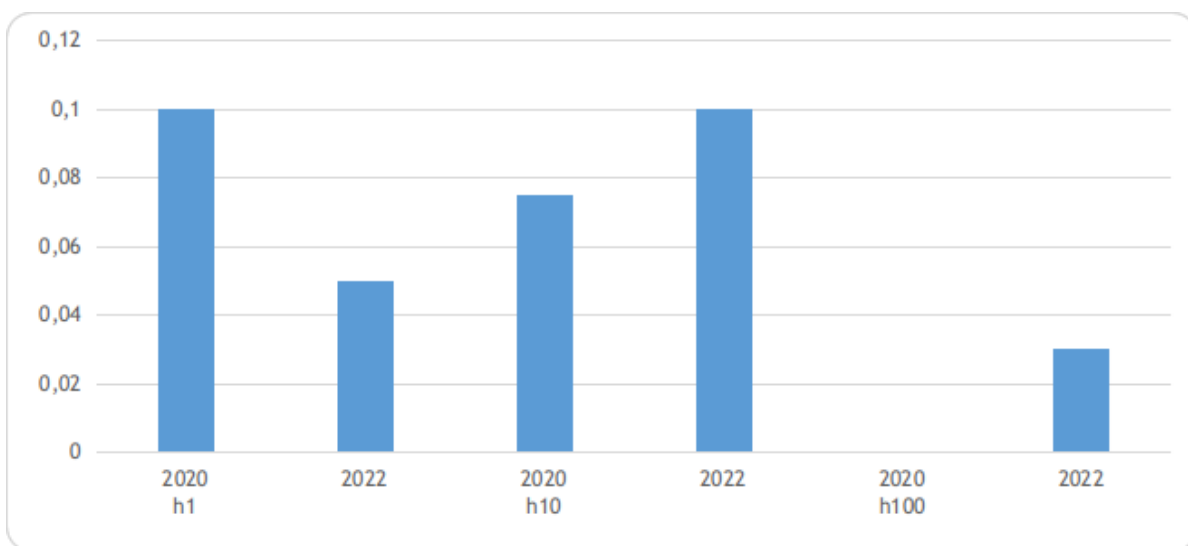


Figure 25. Variation des combustibles de surface enregistrée dans la zone Foce del Termine à la suite du traitement combiné de la réduction mécanique des combustibles et du brûlage dirigé

L'augmentation de la matière végétale partiellement carbonisée, générée par le traitement combiné du broyage et du brûlage dirigé pourrait être évaluée dans toutes les situations où il est jugé nécessaire d'augmenter la composante de matière organique dans le sol afin d'améliorer sa structure et de limiter l'effet érosif potentiel généré par l'impact de l'eau de pluie.

Du point de vue floristique, à l'instar de ce qui est décrit pour les techniques individuelles, on observe une augmentation nette des espèces herbacées, comparable en termes de fréquences avec les résultats de l'application du brûlage dirigé. Le graphique de la figure 26, en fait, montre comment dans la zone de Foce del Termine, suite à la combinaison de techniques, à l'été 2022, plus de 20 espèces différentes ont été détectées par mètre carré (dont certaines n'ont pas été reconnues parce que elles venaient de germer et signalées comme "herbacées" génériques contre seulement 4 détectées avant l'intervention de l'été 2020.

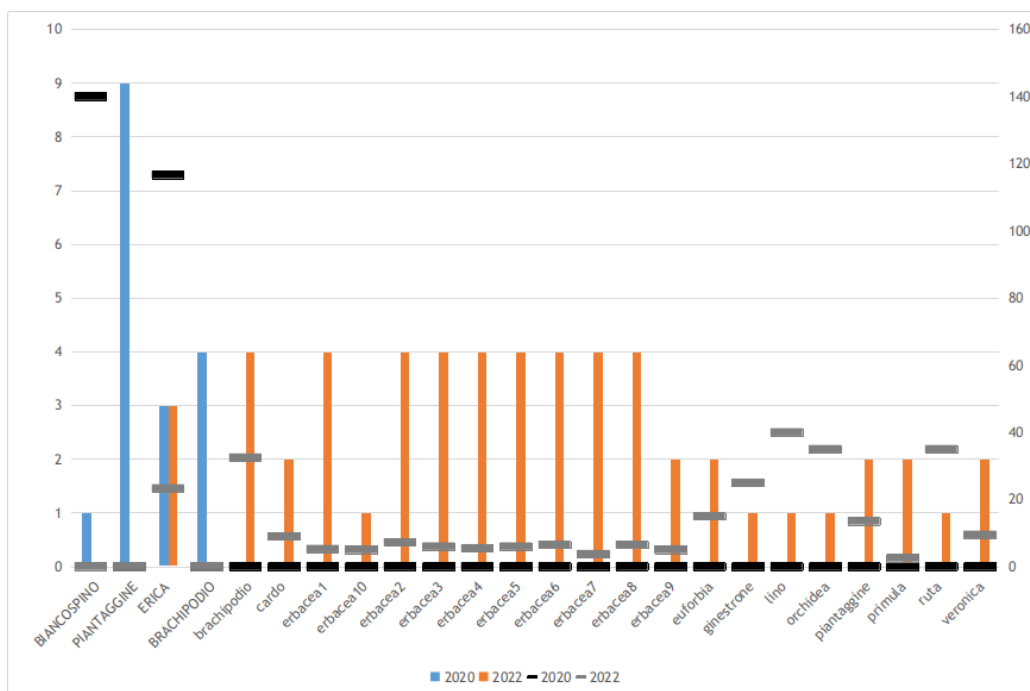


Figure 26. Variation de la composante herbacée et arbustive dans la zone Foce del Termine suite à l'application de la réduction mécanique des combustibles et du brûlage dirigé ultérieur - fréquences spécifiques à gauche (colonnes bleues et orange) et hauteurs moyennes des espèces indiquées dans le colonne de droite (lignes noires et grises)

En ce qui concerne l'activité de pâturage suite à la réduction mécanique des combustibles, testée dans la même zone, il n'y a pas de différences significatives par rapport à ce qui est rapporté pour l'activité de pâturage seule, sauf pour la composante des combustibles de surface morte, qui de manière similaire à ce qui est rapporté pour la combinaison avec le brûlage dirigé, elles sont majorées dans les composantes dimensionnelles plus importantes.

Analyse Swot synthétique par territoire et technique

Forces	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> ● Dans certains cas, la combinaison d'interventions mécaniques de réduction de combustible est fonctionnelle à l'application d'autres techniques (par exemple pour l'accès des animaux au pâturage). ● Augmenter la quantité de matière organique dans le sol. 	<ul style="list-style-type: none"> ● L'intervention de réduction mécanique, dans des zones inaccessibles et sans structures routières adéquates, est peu productive et coûteuse et affecte donc considérablement le compte de résultat de la combinaison avec d'autres techniques.

Opportunités

- perspective intéressante en combinaison du pâturage qui, suite à la réduction mécanique ou au brûlage dirigé, parvient à maîtriser la charge en combustible, allongeant potentiellement les temps de retour pour les traitements ultérieurs

Menaces

- aucune menace spécifique particulière n'est détectée dans la combinaison de différentes techniques autres que celles relatives aux spécifications techniques uniques décrites précédemment.

4.2. Corse

4.2.1. Description de l'association de techniques expérimentées

Dans le cadre du projet Med-Foreste, l'ONF a réalisé des travaux de réduction de combustible dans la forêt communale (FC) de Zona sur les zones prévues pour l'auto-résistance prévues dans le Plan de Proximité du Massif Forestier (PRMF), un plan pour les secteurs forestiers remarquables.

Il s'agit d'interventions visant à réduire et à maintenir la charge de combustible (couche inférieure et litière) à des niveaux très bas, à modéliser la structure du peuplement (élagage, etc.) et à tenter d'optimiser l'effet en surface (superficie minimale de le sol traité) dans des zones définies comme prioritaires. Cette auto-existence n'est pas destinée à un contrôle direct ou indirect (PPFENI 2013-2022).



Figure 27 Exemple d'auto-résistance dans un peuplement de Pino Laricio (Massaiu & Tiger 2022).

La zone d'auto-résistance prévue s'étend du Col de Bavella à la Bocca di Velaco (Figure 28).

L'attractivité internationale du site des Aiguilles de Bavella et sa très forte fréquentation nécessitent la conservation de ce paysage, du moins en ce qui concerne la perception depuis les sentiers qui traversent les Aiguilles.

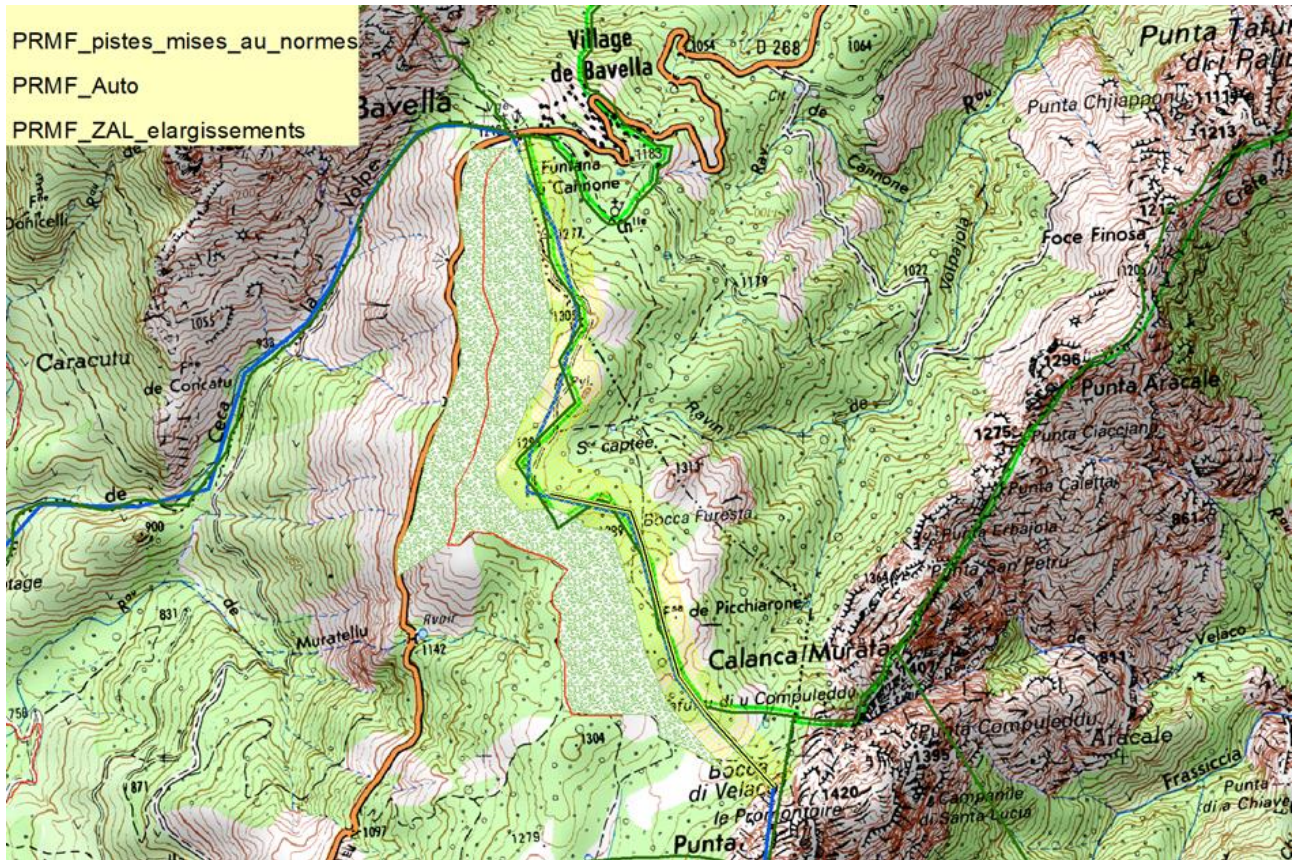


Figure 28. Zone d'autorésistance de la gestion forestière FC Zona, confirmée par le PRMF Zona

Le secteur où se déroulent les interventions est adjacent à une ZAL (zone d'appui au combat), située en amont sur la crête du Velaco, à proximité d'un chemin très fréquenté. La synergie des œuvres a ainsi été exploitée, notamment pour accroître la protection des visiteurs.

Un objectif complémentaire de sécurité civile est donc identifié pour ces travaux.

La création de la zone d'autorésistance vise à rendre la zone plus sûre, en réduisant le combustible et donc l'intensité de l'incendie potentiel dans cette zone.

Les travaux ont porté sur :

- élimination du sous-bois (garrigue méditerranéenne) par débroussaillage manuel et/ou combustion dirigée ;
- amincissement dans les zones de régénération dense.

4.2.2. Conditions d'application pour le territoire

Compte tenu de la gradation spatiale en fonction de l'éloignement de la ZAL et du cheminement, les interventions à réaliser sont sectorialisées par zone, afin de les adapter aux objectifs poursuivis, comme le montre le tableau 10.

Zone	Position	Cible
1	Zone ZPH	Protection incendie (ZAL) Sécurité publique Conservation du paysage Perception du chemin et de l'extérieur
2	En dehors de la ZAL mais à moins de 20 m du sentier (distance à moduler selon le type de stand)	Sécurité publique et paysage (proximité immédiate du sentier) Paysage de l'extérieur
3	En aval de la zone 2 mais visible du chemin (visibilité estimée après les travaux)	Sécurité publique et paysage intérieur (proximité du chemin) Paysage de l'extérieur
4	En aval de la zone 3 et en amont du chemin forestier Velaco	Sécurité publique (interface pour réduire l'intensité d'un incendie) Paysage de l'extérieur NB : Ces zones ne sont plus visibles depuis le chemin.
5	En aval de la route forestière du Velaco et en amont de la route départementale	Paysage de l'extérieur

Tableau 10. Tableau récapitulatif des objectifs répartis par lieu d'intervention en Corse.

Les zones de 2 à 5 correspondent aux zones en charge de l'autorésistance et couvrent une superficie de 56 ha. L'espèce cible est le pin mélèze. Les feuillus, sapins et autres essences doivent être conservés, mais en petites proportions. Le critère d'exploitabilité est la durée avant la mort des arbres.

La régénération doit être préservée.

Les conditions d'accueil du public sont les suivantes :

- garantir la sécurité en éliminant le combustible dans les zones 2, 3 et 4 de manière de plus en plus intense au fur et à mesure que l'on se rapproche du parcours ;
- la mise en valeur du paysage intérieur dans les zones 1 (uniquement à proximité des voies), 2 et 3.

Lignes directrices sur les lots

Zone 5

- Élimination du combustible de surface.

En cas de brûlage dirigé :

- pas de brûlure du feuillage des arbres adultes ;
- sur de petits groupes d'arbustes aux structures irrégulières, s'il n'y a pas de régénération.

NB : La repousse des fougères n'est pas gênante en été, au contraire, elle masque le noircissement de la brûlure et réduit l'impact visuel.

- Suppression du tartre combustible (présence de branches mortes dans les étages inférieurs).

- 1ère année (septembre, octobre 2019)

- Éclaircissage systématique : sélection et coupe de résineux du plan dominé pour réduire la densité et obtenir une meilleure stabilité des sujets résiduels.
- Débroussaillage en groupes de jeunes pins, si $H < 2$ m : n'enlever que la tache et les tiges dominantes et mortes ; si $2 \text{ m} < H < 6$ m : espacer les tambours à 1,5 m et si $H > 6$ m : espacer les tambours à 3 m.
- Sous les jeunes adultes supprimer la régénération.
- Sous les vieux arbres, conserver la régénération comme dans les groupes de jeunes pins. Brûlage dirigé: Suivez le parcours de brûlage dirigé de façon irrégulière.
- Comme pour le combustible aérien, enlever les tiges dominées, brûlées et mortes, en gardant 1 arbre mort par hectare.

Zone 4

Mêmes interventions de la zone 5 avec l'ajout de

- taille à 3 m dans les zones non concernées par le brûlage dirigé.
- Entretien plus fréquent. Intervalles à définir en fonction de la repousse.

Zone 3

Mêmes interventions qu'en zone 4, en évitant les formes géométriques et les distances régulières. Les travaux suivront la forme du paysage intérieur.

Si le brûlage est utilisé, des mesures doivent être prises pour limiter l'impact sur le paysage intérieur.

Zone 2

Mêmes interventions de la zone 3 avec en plus :

- entretien beaucoup plus fréquent pour obtenir la remise à zéro du combustible au sol (hors fougère d'été). Fréquence à adapter en fonction des conclusions de la visite annuelle de sortie d'hiver (impératif).
- extraction d'arbres avec des coulées de résine et d'arbres morts sur pied
- exigences plus élevées en matière d'espacement et d'élagage des tiges. A décider au cas par cas.

Expérimentation

m² ont été sélectionnées .

La zone d'essai est occupée par un peuplement résineux issu d'un reboisement artificiel en pinède puis abandonné sans aucune intervention de gestion.

Au sein de la zone d'étude, 9 parcelles ont été identifiées caractérisées par différents types et différentes interventions.

- PARCELLE 1 : Forêt fermée de pins mélèzes sur laquelle ont été effectués les traitements suivants : épiluchage et éclaircissage, élagage, résidus de coupe laissés sur place en morceaux de 1 m.
- PARCELLE 2 : Forêt fermée de pins mélèzes sur laquelle ont été effectués les traitements suivants : débroussaillage et éclaircissage, élagage, brûlage dirigé.
- PARCELLE 3 : Forêt fermée de pins mélèzes sur laquelle ont été effectués les traitements suivants : épiluchage et éclaircissage, élagage, déchiquetage des résidus.
- PARCELLE 4 : Forêt fermée de pins mélèzes sur laquelle ont été effectués les traitements suivants : débroussaillage et éclaircissage, élagage, déchiquetage des résidus et brûlage dirigé.
- PARCELLE 5 : Forêt fermée de pins mélèzes sur laquelle ont été effectués les traitements suivants : brûlage dirigé.
- PARCELLE 6 : Forêt ouverte de pins mélèzes avec sous-bois à genêts sur laquelle ont été réalisés les traitements suivants : défrichement partiel, émondage, brûlage dirigé.
- PARCELLE 7 : Forêt ouverte de pins mélèzes avec sous-bois à genêts sur laquelle ont été effectués les traitements suivants : brûlage dirigé.
- PARCELLE 8 : Forêt claire de pins mélèzes à sous-bois à genêts sur laquelle ont été effectués les traitements suivants : défrichement avec élimination par séchage.
- PARCELLE 9 : Forêt ouverte de mélèzes et de sous-bois de bruyère sur laquelle ont été effectués les traitements suivants : brûlage dirigé.

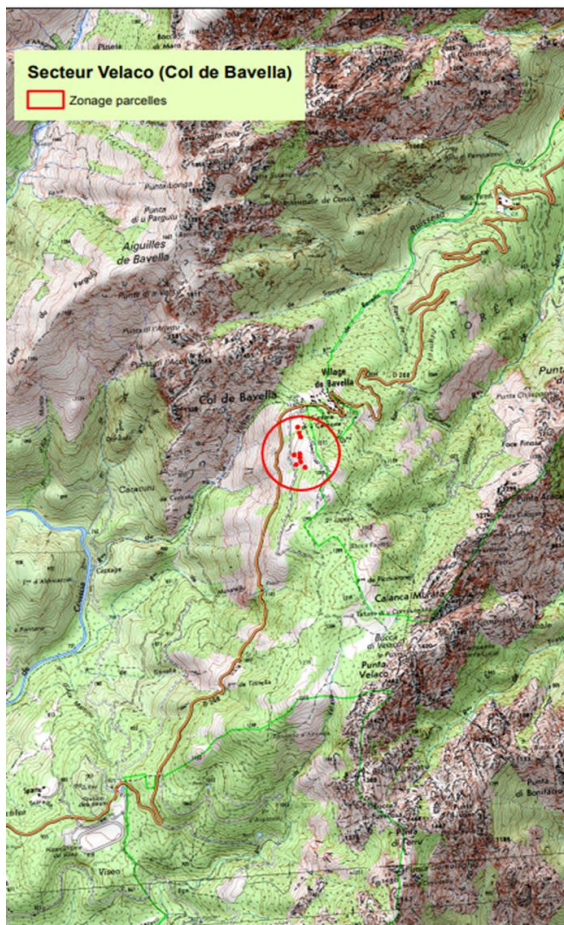


Figure 29 - Localisation des parcelles expérimentales 1



Figure 30 - Localisation des parcelles expérimentales 2

4.2.3. Évaluation : efficacité par rapport à l'objectif de l'intervention, durée estimée ou détectée, coûts réels par rapport à ceux estimés

Comme expliqué dans le chapitre précédent, différentes méthodes d'intervention ont été comparées individuellement et de manière combinée dans la zone de Velaco. Pour la clarté de la présentation, les résultats sont regroupés en interventions sylvicoles seulement, brûlage dirigé seulement et brûlage dirigé après interventions sylvicoles. Comme dans les autres Régions, un suivi ex-ante et ex-post a été envisagé dans lequel la charge de combustible forestier répartie en petites, moyennes et grandes tailles (1,10,100h) ainsi que la litière ont été enregistrées.

La figure 31 montre la répartition dans les différentes classes dimensionnelles des combustibles forestiers pour chaque type d'intervention. Il est facile d'observer comment, par rapport à la surveillance ex-ante, seul le brûlage dirigé abaisse les valeurs globales des combustibles forestiers. Dans d'autres cas où des interventions sylvicoles sont présentes, il y a une augmentation du combustible, en particulier 10h et 100h. Comme nous l'avons vu pour les autres régions impliquées dans le projet, cela est dû au dépôt au sol de matières résiduelles des usages qui ne peuvent être complètement éliminées. Comme dans les autres cas,

une augmentation de combustible ne correspond pas nécessairement à une augmentation du risque d'incendie puisque ce matériau résiduel est assez hygrométrique et plutôt compact et donc difficilement inflammable.

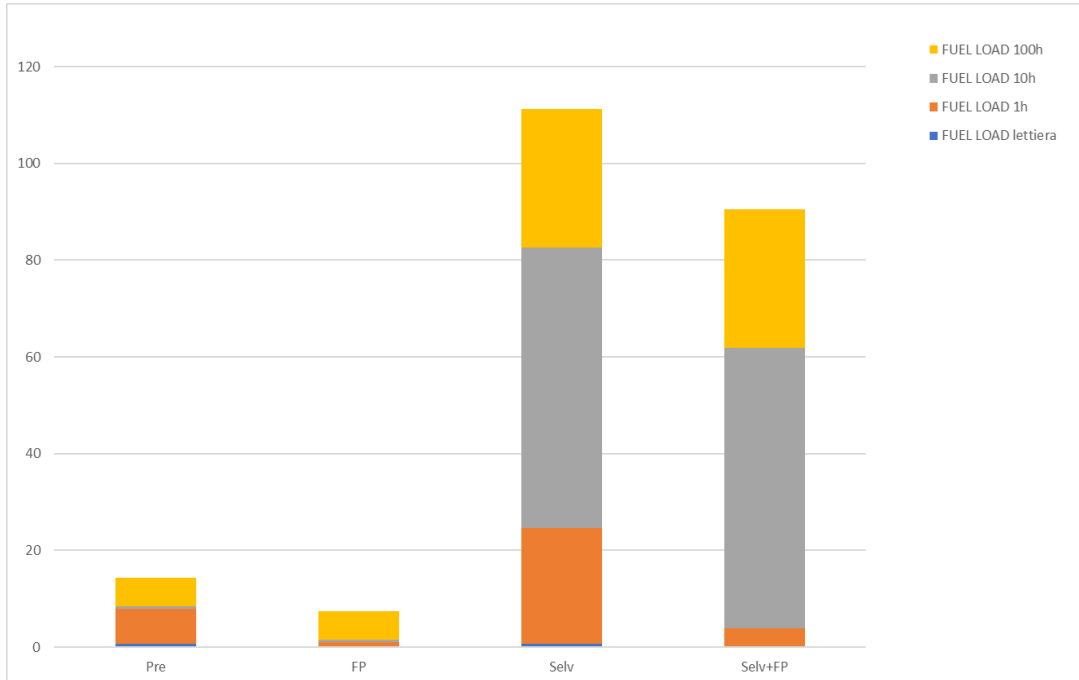


Figure 31. Variation du combustible végétal à la suite de différentes interventions. La répartition par classe de taille du combustible est indiquée.

Description	De taille moyenne	Couverture	Hauteur d'insertion de la couronne
-	m	%	m
Pré	13	90	0,5
BD	13	90	0,5
Selv	13	70	2.0
Selv + BD	13	70	2.0

Tableau 11. La hauteur moyenne, le degré de couverture et la hauteur d'insertion de la canopée sont rapportés pour chaque type d'intervention.

Suite aux interventions sylvicoles, il y a eu une diminution du pourcentage de couverture et une augmentation de l'insertion du feuillage. Bien sûr, la même chose ne s'est pas produite lorsque seul le brûlage dirigé a été effectué.

Coût des interventions

Localité	Municipalité	Travaux réalisés en économie directe (personnel interne à l'organisation)	Travaux réalisés par un entreprise externe (Marché public)	Nombre d'ha par intervention (ha)	Montant (€)	Cout Unitaire par ha (€/ha)
ZONZA PLOT 1 - POTATURE DIRADAMENTI E TAGLIO A 1 MT	ZONZA	X		0,5	4.217,00	8.434
ZONZA PLOT 2 - POTATURE DIRADAMENTI TAGLIO A 1 MT E FUOCO PRESCRITTO	ZONZA	X		0,5	5.730,00	11.460
ZONZA PLOT 3 - POTATURE DIRADAMENTI TAGLIO A 1 MT E CIPPATURA	ZONZA	X		0,5	5.146,00	10.292
ZONZA PLOT 4 - POTATURE DIRADAMENTI TAGLIO A 1 MT, CIPPATURA E FUOCO PRESCRITTO	ZONZA	X		0,5	7.011,00	14.022
ZONZA PLOT 5 - FUOCO PRESCRITTO	ZONZA	X		0,5	1545	3.090

4.2.4. Analyse Swot synthétique par territoire et technique

Brulage dirigé

<p>Forces</p> <ul style="list-style-type: none"> · Coût d'exécution réduit · Rapidité d'exécution · combustible éliminé et non transformé · Adapté aux sites inaccessibles · Fertilisation du sol 	<p>Points de faiblesse</p> <ul style="list-style-type: none"> · Dépendance stricte à la météo · Limites opérationnelles dues aux contraintes environnementales et paysagères · Le besoin de personnel formé en bonne condition physique · Impact sur le paysage
<p>Opportunités</p> <p>Croissance professionnelle (designers, réalisateurs, torches, analystes, météo)</p> <ul style="list-style-type: none"> · Formation du personnel de combat <p>Combiner plusieurs objectifs (DFCI, protection du paysage, environnement, ...)</p> <ul style="list-style-type: none"> · Sensibilisation à l'utilisation du feu 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> · Sécurité excessive du personnel et risques de débordement <p>Hostilité d'une partie du monde écologiste ou des citoyens</p> <ul style="list-style-type: none"> · Opposition d'une partie du monde forestier · Avis divergents sur cette technique

Déchiquetage

<p>Forces</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nettoyage visuel - Peut être utilisé toute l'année - Décomposition rapide 	<p>Points de faiblesse</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transport du matériel - Temps de fonctionnement - Coût élevé - Les règles de sécurité - La formation du personnel - Limité aux sites accessibles - Le combustible vivant s'est transformé en fine matière morte, ce qui augmente le risque surtout la première année.
<p>Opportunités</p>	<p>Menaces</p>

Amincissement et nettoyage des résidus

<p>Forces</p> <ul style="list-style-type: none"> - Moins d'impact sur l'environnement - Peut être fait toute l'année - Matériel pas très cher et facilement disponible 	<p>Points de faiblesse</p> <ul style="list-style-type: none"> - Besoin de formation - Transport de matériaux - Le temps des opérations - Les règles de sécurité - La formation du personnel - Limité aux sites accessibles <p>Le combustible vivant s'est transformé en matière morte, augmentant le risque pendant de nombreuses années.</p>
<p>Opportunités</p>	<p>Menaces</p>

4.3. Région Sud-PACA

4.3.1. Description de l'intervention mise en œuvre

L'objectif est d'évaluer l'utilisation du pastoralisme sylvoicole dans le cadre de différents itinéraires sylvoicoles, d'identifier dans quelles conditions et dans quelles situations il est approprié.

Le sylvopastoralisme dans la région sud de la France est généralement organisé autour des filières caprine, ovine et bovine, qui sont bien structurées. La filière équine est peu sollicitée car ces animaux offrent peu de valeur productive. Cependant, il a été constaté que le pâturage des chevaux, et des ânes en particulier, offre de réels avantages. En effet, les ânes font preuve d'une certaine autonomie contrairement aux moutons, ils sont facilement maniables et leur alimentation nécessite une part importante de matière végétale lignifiée. Ils répondent donc pleinement aux attentes d'une action ayant un impact sur la biomasse végétale forestière.



Figure 32. Troupeau d'ânes dans les bois

L'expérimentation a été menée sur deux sites, l'un continental, au Cap Lardier (La Croix-Valmer, Var, France), l'autre insulaire, sur l'île de Porquerolles (Hyères, Var, France). Le site de Cap Lardier permet d'évaluer le sylvo pastoralisme dans les zones préforestières colonisées par *Acacia dealbata*. Les parcelles de Porquerolles sont définies par des faciès entièrement forestiers, allant de plantations de *Pinus pinea* à des hautes arbustives à *Erica arborea* et *Arbutus unedo* avec un faible couvert de *Pinus halepensis* et *Quercus ilex*.



Figura 33. Individuazione geografica di Cap Lardier e Porquerolles.

Au Cap Lardier, par exemple, il est possible d'évaluer l'action sylvo-pastorale des ânes sur la réduction du combustible dans le cadre de la lutte contre l'espèce végétale exotique envahissante *Acacia dealbata*, tandis qu'à Porquerolles les interventions forestières concernent la réduction du combustible dans les sous-bois d'une plantation trente ans de *Pinus pinea* n'ayant subi aucune intervention, dans les pinèdes naturelles de *Pinus halepensis* et dans les clairières des hauteurs. Ces expérimentations complètent les actions déjà menées par le Parc national de Port-Cros depuis 2012 sur les pratiques pastorales forestières en zone d'appui à la lutte contre l'incendie (ZAL).

Sur l'île de Porquerolles, dans le sud de la France, l'intervention a consisté à éclaircir des pinèdes pendant plus de quarante ans. A terme, cela devrait conduire à une dynamisation et une diversification maîtrisée du sous-bois feuillu. Compte tenu des exigences du Parc National, l'objectif de l'intervention était également de développer une procédure plus reproductible que les techniques traditionnellement utilisées.

Le choix de la technique a donc été de conserver l'abattage à la tronçonneuse, mais de réaliser l'abattage avec un tracteur forestier pour disposer les grumes au bord de la route. La petite taille du chantier a permis une seule intervention pour les deux lots, limitant ainsi les transports, notamment maritimes.

Particule	Typologie	densité initiale nb plantes / ha	Densité après chirurgie nb plantes / ha
195	Plantation de <i>Pinus pinea</i> avec maquis méditerranéen	410	275
175	Plantation de <i>Pinus pinea</i> avec couverture complète	206	157

Tableau 12. Variations du nombre de plants à l'hectare dans les interventions en région PACA.

Les périodes de pâturage se sont déroulées sur 2 ans, au printemps 2021 pendant environ 3 mois et pendant environ 6 mois de novembre 2021 à mai 2022 pour Porquerolles et 3 mois au Cap Lardier d'avril à juin 2022.

4.3.2. Conditions d'application par territoire

A Porquerolles, les 3 types de forêts étudiés sont regroupés derrière la plage d'Argent. Cette proximité limite les phases de déplacement des ânes et la manipulation du matériel (abris en bois, mangeoires, etc.). Les conditions logistiques sont facilitées, le terrain est plat et équipé d'une voie de desserte. Une stratégie similaire a été mise en place à Cap Lardier.

La période hiver 2021-printemps 2022 a été caractérisée par un déficit pluviométrique, annonciateur de la sécheresse de l'été 2022. Ces conditions réduisent la production végétale et donc les ressources alimentaires pour les animaux, qui doivent être intégrées au foin.

Les deux sites sont situés dans une zone protégée qui vise à préserver le paysage et dans une zone Natura 2000. Chaque intervention est soumise à autorisation et à des études d'impact sur l'environnement. Pour le Cap Lardier c'est le plan de gestion, tandis que pour l'île de Porquerolles c'est le Plan de Défense de l'Île, autorisé par le Ministère après avis du Conseil Scientifique du Parc National de Port-Cros en 2012.

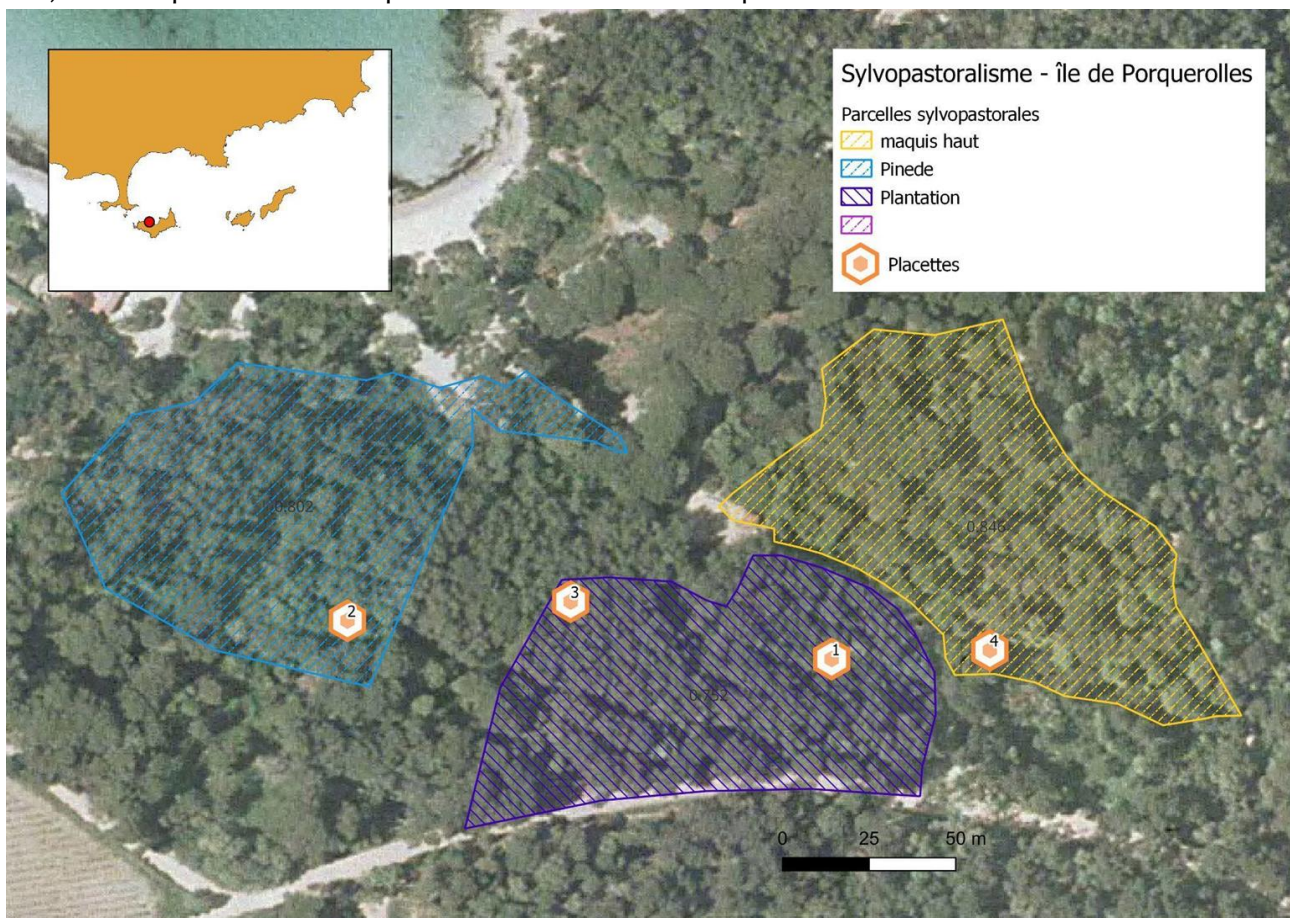


Figure 34. Identification des zones de surveillance à Porquerolles.

Par ailleurs, les déplacements de troupeaux de chevaux et donc de groupes d'ânes sont soumis à des règles spécifiques pour des raisons sanitaires.

Les ânes sont très appréciés du public. Dans de tels sites touristiques, une attention particulière doit être portée à la sécurité des visiteurs et des animaux. L'électrification de la clôture doit être régulièrement signalée au public, ainsi que les recommandations d'utilisation (ne pas entrer dans la clôture, ne pas nourrir les animaux, tenir les chiens à distance, etc.).

De même, un descriptif de l'action doit être porté à la connaissance des visiteurs et riverains par des panneaux explicatifs ou des séances d'information. En effet, les visiteurs, souvent issus des milieux urbains et éloignés des réalités du monde agro-sylvo-sylvicole, peuvent se méprendre en interprétant le pâturage en forêt comme une possible maltraitance des animaux.

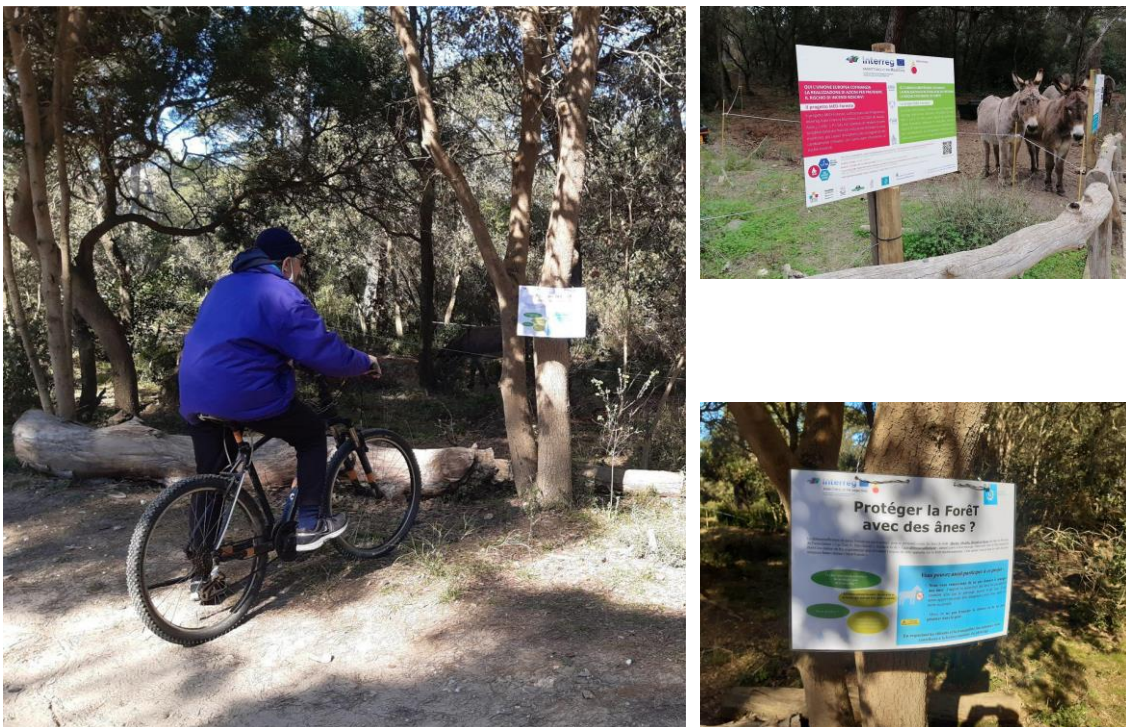


Figure 35. Signes d'interventions en région PACA.

L'expérimentation a porté sur les aspects techniques, logistiques et organisationnels.

Deux méthodologies organisationnelles ont ainsi été testées:

- Sous-traitance via un contrat pour le site de Cap Lardier, où l'éleveur assume l'entière responsabilité du groupe d'ânes et de la réussite de la prestation ;
- La prise en charge du groupe d'ânes au travers d'une location, la garde des animaux directement par l'établissement à Porquerolles. L'insularité rend difficile la sous-traitance sans prendre de risques sur la réussite de l'action et pour les animaux.

Dans ces deux démarches, l'achat d'équipements (abris, clôtures, panneaux d'information, etc.), l'utilisation d'ânes nécessitait l'attribution de marchés publics, mais pour un faible montant qui permettait la mise en place de procédures simples. Une formation initiale s'imposait également à la gestion d'un groupe d'ânes gérés directement à Porquerolles.

4.3.3. Évaluation : efficacité par rapport à l'objectif de l'intervention, durée estimée ou détectée, coûts réels par rapport à ceux estimés

L'effet du pâturage dépend du type de sous-bois et en milieu forestier il est d'autant plus efficace que le milieu est plus ouvert. En effet, l'âne spatialise l'usage de son environnement, définissant des axes de circulation préférentiels. L'action est d'autant plus hétérogène que le milieu est fermé. Ainsi, dans l'entretien d'un débroussaillage de broussailles, les résultats sont largement appréciables, alors qu'ils seront plus atténués dans l'application en milieu clos comme la brousse.

Les interventions se déroulent sur une longue durée, de l'ordre d'un mois par hectare avec de petits troupeaux.



Figure 36. Comparaison des surfaces boisées avant et après pâturage.

Le coût de l'intervention est considérablement réduit lorsqu'une prestation externe est utilisée, puisque la prestation est jugée sur le résultat, et non sur le nombre d'animaux ou leur durée. Le montant a été fixé à 4000 € pour 3 mois sur un potentiel de 4 ha. En revanche, l'élevage est facturé en moyenne 200€/mois et par animal.

L'utilisation de l'âne dans le pastoralisme sylvestre est pertinente :

- en alternance avec le nettoyage manuel, réduit la fréquence de nettoyage de 1 à 2 ans,
- dans les sous-bois avec maquis méditerranéen, investissant depuis plusieurs années.

Du point de vue du combustible forestier, les variations du matériau divisé par le décalage temporel sont rapportées ci-dessous pour les deux interventions de Porquerolles et de Cap Lardier (Figure 37 et Figure 38). Dans le premier cas, à la suite de l'intervention, une diminution plus fine du combustible a été enregistrée, pratiquement pas de changement pour les combustibles de taille moyenne (10h) et une augmentation pour les combustibles de grande taille (100h). En revanche, à Cap Lardier pour les trois classes granulométriques il n'y a pas de changement sauf une légère diminution.

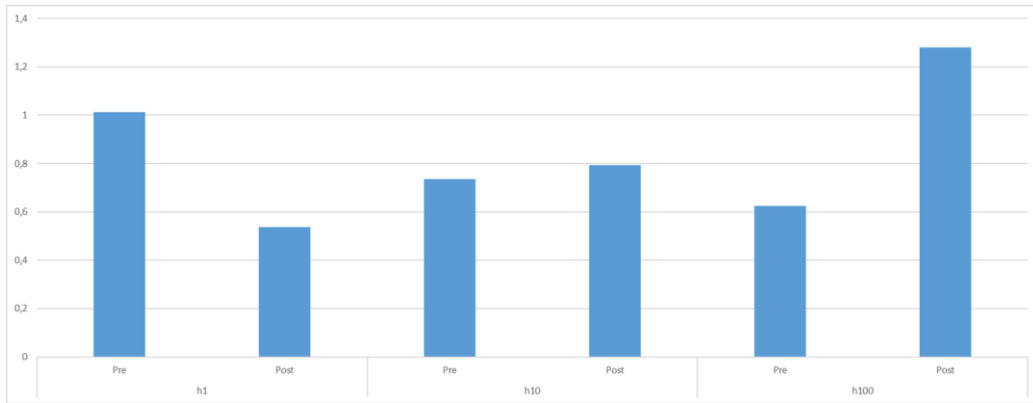


Figure 37. Variation du combustible forestier décomposé en décalage dans le temps dans les secteurs de Porquerolles.

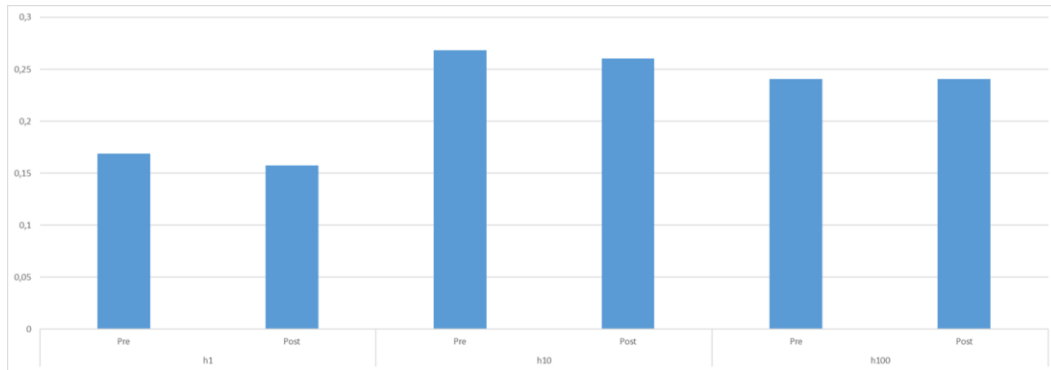


Figure 38. Variation du combustible forestier divisé en décalage temporel dans les secteurs de Cap Lardier.

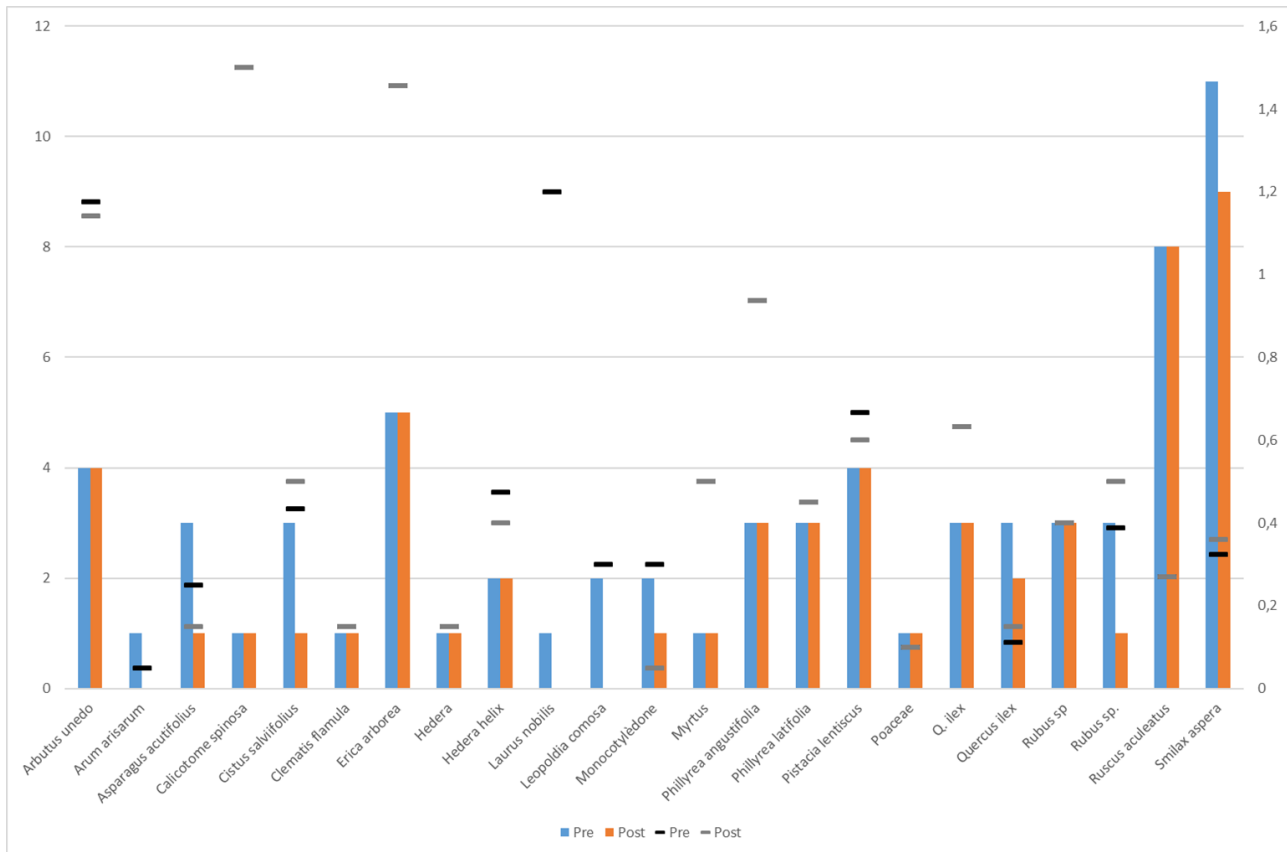


Figure 39. Variation de la composante végétale suite aux interventions à Porquerolles. En bleu et orange la fréquence des différentes espèces et en noir et gris la taille moyenne atteinte par l'espèce.

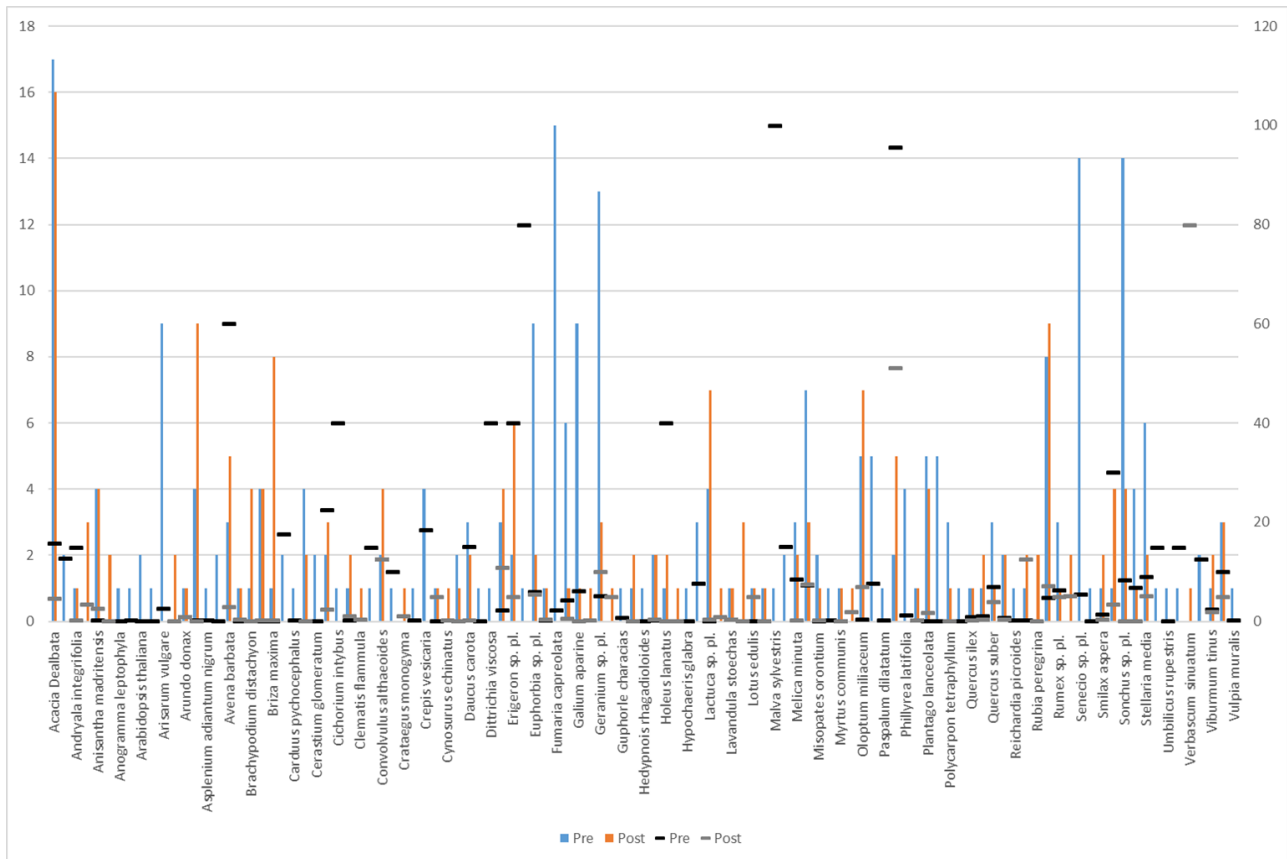


Figure 40. Variation de la composante végétale suite aux interventions au Cap Lardier. En bleu et orange la fréquence des différentes espèces et en noir et gris la taille moyenne atteinte par l'espèce.

Les figures 39 et 40, quant à elles, montrent les variations en termes de composante végétale dans les zones traitées. Pour Porquerolles (Figure 40) il est possible de mettre en évidence comment suite à l'intervention il existe certaines espèces pour lesquelles le nombre de plantes présentes ne varie pas, alors que d'autres diminuent leur présence absolue, certaines d'entre elles jusqu'à leur disparition. En général, il y a une diminution de la hauteur des plantes. Sur le Cap Lardier il s'agit tout d'abord de mettre en évidence une forte variabilité en termes d'espèces présentes. Certaines des espèces recensées diminuent leur présence tandis que d'autres l'augmentent, certaines, même, sont présentes après l'intervention et pas avant, d'autres inversement. Dans le cas précis, une étude plus approfondie de la variation des espèces présentes et de leur nombre serait nécessaire.

4.3.4. Analyse SWOT de la synthèse par territoire et par technique

<p>Forces</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Propose une gamme d'interventions ● Méthodologie basée sur la nature (NBS) ● Réduit les coûts ● Enrichissement du sol en matière organique 	<p>Points de faiblesse</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Nécessite des connaissances approfondies ● Augmente le risque de danger ● Planification pluriannuelle ● Action non généralisable à tous les environnements ● Dépendance à la dynamique de la végétation
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Diversification des compétences ● Facilité d'exécution ● Coût 	<p>Des menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Augmentation du nombre de parties prenantes ● Accumulation de brindilles au sol ● Nécessité de maintenir le bien-être animal

Partie C

1. Réflexions finales sur l'applicabilité, l'efficacité et la communication au public des techniques de réduction des risques d'incendie testées

L'expérience acquise au cours du projet MED-Foreste, impliquant tous les territoires de coopération, a permis d'évaluer les effets de différents traitements du combustible forestier pour la réduction du risque d'incendie. Du point de vue de l'applicabilité, des limitations de nature physique et autoritaire liées à la possibilité d'utiliser les différentes techniques ont émergé, mettant en évidence, à travers la comparaison entre les partenaires, des opportunités et des idées pour surmonter les limitations réglementaires. Avant d'entrer dans le vif du sujet de l'évaluation des techniques, il est utile de souligner les aspects communs, liés aux limites réglementaires, auxquels les partenaires ont été confrontés. Tous les territoires ont traité des zones en correspondance avec des zones protégées (ZPS, parcs régionaux et nationaux, zones de contraintes paysagères et sites d'intérêt communautaire) pour lesquelles une procédure d'autorisation spécifique était requise. La limite, dans ce cas, ne réside pas tant dans le processus d'autorisation que dans le temps nécessaire à ce processus. De l'expérience de la comparaison des différentes réalités territoriales, il ressort clairement que dans tous les cas où les interventions réalisées étaient déjà prévues par des instruments de planification territoriale pluriannuelle, les délais d'autorisation ont été réduits, voire inexistant, car ils avaient été préalablement autorisés. Dans d'autres cas, il a même fallu des mois avant que les interventions puissent avoir lieu, dans l'attente des autorisations et des habilitations requises par la réglementation. Il est évident que l'inclusion des interventions de prévention dans les outils de planification territoriale, en plus de faciliter les procédures d'autorisation, donne la possibilité d'optimiser les interventions elles-mêmes, en réduisant les coûts et en programmant les temps d'exécution.

La technique du brûlage dirigé a donné de bons résultats en matière de réduction du combustible, qu'elle soit appliquée seule ou en combinaison avec d'autres techniques, notamment dans les zones peu accessibles où l'alternative du traitement mécanique de réduction du combustible est inapplicable ou extrêmement coûteuse. Le principal avantage de l'utilisation des brûlage dirigés a été reconnu dans le fait qu'ils consomment et minéralisent très rapidement le combustible végétal (l'alternative étant le moment de la dégradation naturelle du matériau déchiqueté). Même en combinaison avec d'autres techniques, le traitement par le feu a entraîné une augmentation générale des espèces herbacées dans toutes ces zones ouvertes et ces landes de montagne. Le traitement par brûlage dirigés apparaît également comme une technique économique et rapide dans les contextes de pinèdes en Corse, où il a été combiné à des traitements sylvicoles de coupe à blanc et de débroussaillage pour créer une discontinuité verticale dans les combustibles. Les principales limitations sont liées aux conditions météorologiques qui permettent son application, conditions qui, combinées aux restrictions

réglementaires sur la protection de la faune ornithologique, réduisent le nombre de jours d'intervention. Un autre facteur limitatif est lié à la formation spécifique du personnel qui dirige le site. Afin d'accroître le niveau professionnel des opérateurs, tant en Toscane qu'en Corse, les sites de brûlage dirigé sont utilisés comme moments de formation pour les nouveaux opérateurs qui, en travaillant aux côtés de personnel expérimenté, se familiarisent avec la technique.

La réduction mécanique, avec des équipements manuels motorisés ou par des tracteurs spécifiquement équipés, semble être la technique la plus utilisée. Il s'agit certainement d'une technique bien établie et connue dans tous les territoires, qui a enregistré des résultats très intéressants dans les activités de prévention des incendies de forêt. L'avantage principal de cette technique réside dans le fait qu'elle permet d'effectuer une sélection sur les espèces, principalement dans les plans arborés et arbustifs, permettant de favoriser des dynamiques de développement avec un degré d'inflammabilité moindre (par exemple, éliminer les conifères et arbustes très inflammables pour permettre le développement des feuillus présents). La principale limite de la réduction mécanique du combustible est liée à l'accessibilité de la zone à traiter. En effet, en l'absence d'un réseau routier adéquat ou dans des situations de forte pente, la possibilité d'utiliser des tracteurs forestiers est réduite de manière drastique, limitant les opérations aux seuls équipements manuels, qui ont des rendements inférieurs en termes de productivité et nécessitent souvent l'utilisation d'un plus grand nombre d'opérateurs. Ce facteur, comme le démontrent les valeurs pour les zones toscanes et ligures, affecte considérablement les coûts de traitement. La possibilité de mécanisation des chantiers est également liée à l'extension des surfaces à traiter, plus les surfaces sont grandes, plus les coûts sont faibles si l'on peut utiliser des tracteurs forestiers, en étant capable de planifier et d'optimiser le potentiel des machines. Un autre facteur qui influence l'aspect économique, ainsi que l'aspect organisationnel, est lié à la possibilité de réaliser des opérations en économie directe. Pouvoir utiliser ses propres travailleurs, en plus de permettre une plus grande élasticité dans les temps d'intervention, garantit généralement une meilleure qualité du travail à des coûts moindres et permet d'introduire des changements dans le cours des activités planifiées. Le principal problème est que, dans la plupart des cas, l'adjudication externe des travaux ne prévoit pas la possibilité de "tester" la qualité technique des entreprises forestières ou la gestion des travaux, à l'exception du Parc National de Port-Cros, qui prévoit un test des entreprises externes pour évaluer la qualité des travaux, avant l'adjudication finale. Du point de vue des effets, comme le montrent toutes les zones traitées suite à la réduction mécanique, il y a une augmentation du combustible mort au sol. Si, d'un point de vue général, cela peut être considéré comme une augmentation du risque d'incendie, en raison de l'accroissement de la quantité de combustibles au sol, cela doit en fait être considéré comme une redistribution spatiale des combustibles. Les interventions réalisées, en effet, visent à créer des discontinuités sur les plans vertical et horizontal entre les combustibles. Le défrichage et le déboisement visent en effet à transformer les combustibles aériens d'envergure, qui conduiraient les flammes jusqu'aux couronnes de la composante arborée, en combustibles de surface, déchiquetés et compactés au sol.

Le pâturage, testé en Toscane et dans la région PACA, est une technique qui a enregistré les meilleurs résultats en combinaison avec un traitement mécanique de réduction du combustible. En effet, dans les zones de pâturage des animaux, il a été nécessaire de débroussailler pour assurer l'accès au fourrage, sauf dans la zone de Foce del Termine. Les effets du pâturage, comme le suggèrent diverses études, sont plus importants dans les activités de contrôle du combustible, car il ne peut pas affecter la composante arborée et arbustive et a donc peu de possibilités de transformer les structures combustibles, contrairement au brûlage dirigé ou à la réduction avec des équipements mécaniques. Il est cependant intéressant d'évaluer les résultats à court terme de l'activité de pâturage, résultats qui donnent une idée du début d'un processus de transformation des systèmes naturels traités. Indépendamment des animaux utilisés, on observe une augmentation générale du nombre d'espèces présentes par unité de surface, une augmentation qui, bien qu'elle puisse être influencée par le défrichage, est également constatée à Foce del Termine, en l'absence de traitements antérieurs du combustible. La pratique du pâturage est généralement la plus appréciée par l'opinion publique et le monde écologiste, qui s'oppose souvent à l'utilisation du feu ou de la mécanisation. En outre, il convient d'envisager la possibilité d'accroître le pâturage en tant que moteur économique dans les zones rurales, en combinaison avec la gestion des risques d'incendie dans les zones qui connaissent un abandon progressif. Comme déjà précisé dans la première partie de ce manuel, il est nécessaire de bien calibrer les choix en termes d'espèces, de nombre d'animaux et de durée des périodes de pâturage, sur la base des objectifs spécifiques de cette zone et pour éviter les effets négatifs d'une charge animale excessive. Certainement en ce qui concerne le pâturage, mais en étendant cette évaluation à d'autres traitements également, il serait souhaitable de poursuivre les enquêtes de suivi pour une évaluation complète à long terme. Les résultats collectés dans le cadre du projet MED-Forêts sont à considérer comme les premiers indicateurs de la dynamique déclenchée par les traitements. Les effets ont été évalués sur la base des mesures effectuées à la suite des interventions qui ont été considérablement retardées par rapport à ce qui était initialement prévu, et qui ont été générées en raison de la situation d'urgence sanitaire qui s'est présentée au début de 2020. Néanmoins, le suivi a fourni une image claire de l'efficacité des traitements, ce qui a permis de tirer une conclusion non triviale. En résumé, on peut affirmer qu'il n'y a pas une technique meilleure que les autres dans l'absolu, il y a des objectifs différents et des différences entre les territoires qui suggèrent la possibilité d'utiliser une technique plutôt qu'une autre, ou même la combinaison de plusieurs techniques. L'expérience du projet et ses objectifs dans les sites toscans ont montré que là où différentes techniques ont été délibérément testées, même avec les mêmes résultats, des coûts plus élevés ont été enregistrés. Le débroussaillage, en particulier sur les zones ouvertes non desservies par des routes, a enregistré les coûts les plus élevés par unité de surface traitée. Dans d'autres cas, l'activité du projet liée aux caractéristiques du territoire et l'identification d'objectifs spécifiques ont conduit à des résultats efficaces en termes de réduction du combustible, avec un bon rapport économique par unité de surface traitée. Une dernière réflexion doit être faite sur l'importance de la communication liée aux activités de prévention des incendies. MED-Foreste, en synergie avec les autres projets MED, a contribué à la sensibilisation aux questions liées au risque d'incendie, notamment par le biais d'un plan de

communication consacré à l'explication des activités et des interventions réalisées, tant dans les zones de démonstration que dans celles destinées à une expérimentation spécifique. L'aspect communication est crucial dans les activités de gestion du territoire et de réduction des risques d'incendie car souvent, les utilisateurs des zones rurales viennent et vivent dans des contextes urbains où la perception de l'environnement naturel est celle d'un système "immaculé" dans lequel chaque activité humaine et chaque intervention porte atteinte à l'intégrité de ce même système. Cette perception dépend certainement du type d'intervention et de l'utilité de la zone traitée. Comme nous l'avons déjà décrit, le pâturage est l'activité la plus appréciée par l'opinion publique car elle est perçue comme "plus naturelle" par rapport au traitement de réduction mécanique du combustible ou au brûlage dirigé, qui suscite jusqu'à présent une profonde aversion de la part du monde écologiste et peu de considération de la part des techniciens forestiers.

2. Réflexions sur les résultats de l'expérimentation d'un projet de coopération territoriale européenne sur la programmation régionale du Fonds européen agricole et de développement rural (FEADER).

2.1 Les indicateurs socio-économiques envisagés par Med-Foreste et leur révision

Le projet Med-Foreste prévoyait initialement le relevé d'indicateurs socio-économiques liés au développement d'activités de prévention et à la commercialisation potentielle de produits issus des activités forestières expérimentées. Le calendrier serré du projet, fortement aggravé par les retards liés à l'urgence Covid, nous a conduit à revoir l'objectif du projet en termes prospectifs, liés à la nouvelle programmation des fonds structurels 2021-2027. Le nouvel objectif poursuivi était donc de créer un lien entre les résultats de Med-Foreste (mais aussi avec ceux des autres projets Med) et la consultation en cours pour la rédaction des nouveaux plans financés par le Fonds européen pour l'agriculture et le développement rural (FEADER).

À cette fin, un groupe de travail a été constitué parmi un certain nombre de partenaires de Med-Foreste (Anci Toscana, Regione Liguria, Anci Liguria, Forestas, ONF¹) qui ont un rôle consultatif aux tables de consultation pour la nouvelle programmation des financements Feasr, mais aussi dans la gestion de la transition de l'ancienne à la nouvelle programmation. Ce dernier a été reporté à 2023 pour donner aux États européens le temps de s'accorder avec les régions sur le nouveau plan stratégique national de la PAC (politique agricole commune), avant de le soumettre à la Commission européenne.

¹ Le patron de l'ONF a assuré la liaison avec l'Office du Développement Agricole et Rural de Corse (ODARC), organisme gestionnaire des politiques agricoles pour le compte de la Collectivité de Corse.

La révision du projet proposée a donc créé les conditions pour l'utilisation des résultats des projets Med aux tables régionales de programmation et de gestion du FEADER, en soutenant le processus par lequel les innovations et les bonnes pratiques expérimentées avec les projets de Coopération territoriale européenne (CTE) dans une sphère restreinte sont transposées, diffusées et institutionnalisées au niveau de la programmation générale (programmes POR, PON). Ce processus permet donc d'inclure dans le "mainstream" ce qui a été expérimenté à travers les projets pilotes, exactement comme cela s'est produit avec les projets Med, afin de reproduire les résultats sur des territoires plus vastes et avec la participation de nouveaux acteurs publics et privés. Toutefois, notre objectif ne se limite pas à favoriser des retombées opérationnelles sur la nouvelle programmation régionale du FEADER, mais aussi du Fonds social européen FSE, à condition que cela se fasse de manière coordonnée entre les différentes autorités de gestion des fonds. Le FSE pourrait financer la formation de nouvelles compétences liées à la sylviculture, en ciblant toutes les catégories de travailleurs et de chômeurs dont la formation n'est pas financée par le FEADER.

Les enseignements tirés des cycles de programmation passés montrent combien il est important d'exploiter, dès les premières étapes de la programmation, les possibilités offertes par les synergies et les complémentarités entre les programmes de l'objectif CTE et les programmes de l'objectif Investissement pour la croissance et l'emploi (ICO). Les règlements approuvés en juin 2021 pour le nouveau cycle de programmation, en particulier le règlement contenant les dispositions communes sur les Fonds FSE et FEDER, le Fonds de cohésion et le règlement CTE (Interreg) lui-même, soulignent la volonté de la Commission européenne d'élargir les possibilités de coopération et de coordination entre les programmes CTE, les programmes généraux, mais aussi avec les stratégies macro-régionales². Ces derniers sont destinés à créer et à financer (également avec les fonds structurels et d'investissement européens) une coopération renforcée entre les pays situés dans les mêmes macro-régions afin de combattre et de résoudre des problèmes communs. Bien que les priorités des stratégies macrorégionales soient définies en fonction des défis et des opportunités spécifiques des régions en question, elles ont en commun trois grandes priorités interconnectées : environnement et changement climatique, recherche/innovation et développement économique, et connectivité (transports, énergie et réseaux numériques).

Faiblesses de la synergie entre la coopération territoriale européenne et les programmes généraux et bonnes pratiques mis en œuvre dans la période de programmation 2014-2020.

² Il existe quatre macrorégions européennes : la mer Baltique, le Danube, l'Adriatique et la mer Ionienne, les Alpes, qui regroupent 19 pays de l'UE et 8 pays tiers. Une cinquième stratégie est en cours d'approbation et concerne la région méditerranéenne, qui comprend tous les pays de l'UE et hors de l'UE qui bordent la Méditerranée.

En ce qui concerne les programmes CTE et leurs synergies potentielles avec les programmes généraux, au cours de la dernière période de programmation, l'attention et la reconnaissance par les responsables de la programmation ordinaire ou générale ont été très modestes, et les synergies se sont souvent produites de manière désordonnée et non programmatique.

Toutefois, les bonnes pratiques n'ont pas manqué, comme dans le cas de l'excellent impact du programme INTERREG Italie-Autriche sur les plans de développement rural des PDR, à travers la mise en œuvre du CLLD (Leader/Local Participatory Development Approach), qui a défini un modèle innovant et transférable d'intégration entre CTE et PDR. En outre, la Région Basilicata a été la première en Italie et parmi les premières en Europe à avoir publié un avis *ad hoc* pour les actions de coopération interrégionale ex art. 96.3.d financées par le POR FEDER 2014-2020.

Une coordination systématique devrait être établie entre les autorités de gestion des fonds généraux et le CTE, car les résultats des projets du CTE permettraient de mieux calibrer la programmation et la mise en œuvre des financements du FEDER, du FSE et du FEADER. C'est pourquoi le CTE et les stratégies macro-régionales ont été associés aux travaux des tables de partenariat visant à définir l'accord de partenariat (APP) des États pour 2021-2027, mais pas à la table de concertation du FEADER pour la rédaction des plans stratégiques nationaux de la PAC.

Nouveau cadre stratégique des synergies entre le CTE et le mainstreaming défini dans l'accord de partenariat 2021-2027

L'accord de partenariat 2021-2027 soumis par l'Italie à la Commission européenne a été approuvé le 19 juillet 2022, qui prévoit le partage et la coordination des 5 objectifs de la politique entre tous les fonds et programmes contribuant à la politique de cohésion, y compris les programmes d'intégration et de CTE. Objectif stratégique 2 "Une Europe plus verte" - Objectif spécifique 4 "Climat et risques" est le domaine où la contribution spécifique des projets CTE, visant à améliorer la gouvernance et la coopération dans la gestion des risques environnementaux, pourrait fournir des résultats très utiles pour la programmation et la gestion des programmes d'intégration. Il existe de nombreuses expériences CTE de systèmes de détection et d'évaluation des risques, d'alerte de la population, de partage de protocoles communs et de plans d'urgence dans des zones transfrontalières, interrégionales où la coordination stratégique et opérationnelle, par exemple en cas d'incendie, peut sauver des vies, mais aussi une grande partie des territoires fortement exposés aux risques d'incendie, liés au changement climatique.

Les AM des programmes du mainstream devraient être plus conscients des opportunités offertes par l'intégration avec les programmes CTE, qui sont souvent considérés comme des expériences à petite échelle avec de petits montants, sans pouvoir saisir les aspects de leur reproductibilité à grande échelle, de l'attention portée à la coopération entre territoires voisins, où souvent les procédures administratives différentes et les différences linguistiques représentent les plus grands obstacles à la résolution de problèmes qui ne peuvent plus être abordés seulement à l'échelle régionale, surtout dans le cas des

problèmes environnementaux et en particulier la lutte contre les incendies. L'accord de partenariat a créé le cadre stratégique des synergies entre le CTE et le mainstreaming, il est maintenant nécessaire de créer des échanges systématiques entre les différentes autorités de gestion et de prévoir des instruments concrets au niveau des appels à financement des différents programmes. Par exemple, il convient de prolonger l'expérience de la région Basilicata et d'envisager des activités de coopération interrégionale dans les POR FEDER 2021-2027, et d'inclure des scores supplémentaires dans les appels de fonds en cas de capitalisation des résultats des projets CTE compatibles avec les lignes de financement des POR. D'autre part, au niveau des programmes CTE, les autorités de gestion devraient envisager des actions de diffusion et de capitalisation des résultats, non seulement entre les programmes CTE, mais aussi en matière de mainstreaming, en utilisant l'assistance du programme INTERACT.

Il faut réussir à créer une plus grande "ouverture" à la connaissance d'autres Fonds et Programmes, encourager l'acquisition de compétences du personnel sur ces sujets, stimuler la demande de coopération de la part des structures sectorielles, afin d'identifier les aspects et les sujets qui doivent être soulevés à l'échelle territoriale. Enfin, un rôle crucial en ce sens est joué par les Administrations régionales et nationales, en créant des modèles de programmation, d'organisation et de procédure qui orientent les structures impliquées vers l'intégration et la coordination entre les Fonds et les Programmes, autant que possible et de manière concrète.

2.2 Un cas concret de synergies entre le projet Med-Foreste et la nouvelle programmation du fonds FEADER

Le groupe de travail Med-Foreste a initialement réalisé une analyse cognitive sur l'utilisation de la mesure 8 "Investissements dans le développement des zones forestières et l'amélioration de la rentabilité des forêts" du PDR 2014-2020 de la Ligurie, de la Sardaigne et de la Toscane. Le fait le plus marquant qui est apparu est précisément le manque de données de suivi disponibles, qui ne permettait pas de saisir l'évolution du financement de 2015 à 2020, ni pour la mesure dans son ensemble, ni encore moins pour la sous-mesure³. Les quelques données disponibles concernent principalement les demandes éligibles en Sardaigne et en Toscane, tandis que seule la Ligurie a fourni des données sur les projets financés. Quoiqu'il en soit, les données incomplètes disponibles montrent que les allocations financières sont très limitées, tant pour les mesures de prévention des risques d'incendie et de catastrophe (sous-mesure 8.3) que pour la restauration des forêts endommagées (sous-mesure 8.4), tandis qu'en ce qui concerne les investissements dans les technologies forestières et la transformation et la commercialisation des

³ Trois sous-mesures ont été examinées : **8.3** - Soutien à la prévention des dommages causés aux forêts par les incendies, les catastrophes naturelles et les événements catastrophiques ; **8.4** - Restauration des forêts endommagées par les incendies, les catastrophes naturelles et les événements catastrophiques ; **8.6** - Soutien aux investissements dans les technologies forestières et dans la transformation, la mobilisation et la commercialisation des produits forestiers.

produits forestiers (mesure 8.6), la Regione Liguria indique que les données sur les investissements sont génériques et se réfèrent à l'achat de machines et d'équipements en général et non spécifiquement pour les interventions sylvicoles, même si elles sont prévues par les appels à propositions, sans une ventilation appropriée par type.

De cette analyse, qui n'est pas très exhaustive ni en termes de comparaisons entre régions ni en termes de valeurs absolues des financements disponibles et de leur utilisation, nous voudrions plutôt souligner le fait irréfutable de la nécessité pour la nouvelle programmation de disposer d'un système de suivi facilement utilisable tant par les organismes gestionnaires du FEADER que par les parties prenantes aux tables de concertation, afin de faciliter la lecture de la contribution des financements aux politiques forestières régionales.

2.3 Capitalisation des résultats des projets MED pour la nouvelle programmation 2021-2027 des fonds généraux

Dans le tableau 13, nous avons essayé de résumer les contributions informatives possibles que les résultats de Med-Foreste et des autres projets Med pourraient fournir dans la concertation et la gestion des nouveaux appels régionaux sur le Fonds régional de développement agricole (FEADER) des 5 régions du programme.

Les résultats pourraient être capitalisés dans les mesures de prévention des risques d'incendie, notamment lors de la mise en place et de la gestion des appels de fonds. Nous avons vu comment le projet Med-Forêts fournit des indications précises quant aux conditions d'applicabilité et d'utilisation ultérieure des techniques de réduction du combustible (brûlage dirigé, pâturage, mécanisé et mélange de techniques), qui pourraient être financées dans le cadre des nouveaux appels du FEADER, uniquement si elles sont mises en œuvre selon des modalités précises.

La contribution de Med Star à l'identification des zones les plus exposées aux incendies (zonage des risques) a été très importante, indiquant les priorités pour la localisation des mesures de prévention à l'échelle régionale dans les cinq régions du programme.

Med PSS a souligné l'importance de la communication préventive des risques d'incendie à la population et la nécessité de financer les activités de sensibilisation à la prévention et les messages *ad hoc*.

Intermed a été le pionnier de la création de communautés *firewise*⁴ dans les zones d'interface qui devraient être financées et promues dans la nouvelle programmation 2023-2027.

Med-Coopfire a testé des prototypes de moyens d'équipement et d'aménagement pour l'interopérabilité en cas d'urgence dans les zones frontalières Ligurie/Toscane - Ligurie/France - Corse/Sardaigne. Un manuel spécial a été élaboré, décrivant un *kit* d'équipements à inclure dans les futurs achats de matériel de lutte contre l'incendie par les organismes publics, à prendre en compte dans les futurs appels d'offre.

⁴ Il s'agit de communautés de lutte contre les incendies de forêt qui impliquent directement les citoyens dans la gestion des activités de prévention des incendies

	Les résultats de MED FORESTE utiles pour la mesure	Les résultats de MED STAR utiles pour la mesure	Les résultats de MED PSS utiles pour la mesure	Les résultats d'INTERMED utiles pour la mesure	Les résultats de MEDCOOPFIRE utiles pour la mesure	Expériences des partenaires/Autres	Criticités
<p>Mesure 8.3 - Soutien à la prévention des dommages causés aux forêts par le feu, les catastrophes naturelles et les événements catastrophiques</p>	<p>Les résultats de MED-FORESTE utiles pour la mesure</p> <ul style="list-style-type: none"> - Techniques utilisées et résultats effectifs (brûlage dirigé, pâturage, mélange mécanisé et technique, sylviculture) - Coûts par type d'intervention/hectare - Population bénéficiaire 	<ul style="list-style-type: none"> - Zonage des risques pour l'identification des priorités d'intervention en matière de prévention à l'échelle régionale (en Toscane, uniquement la zone de programme - côte). Publication de l'avant-projet : fin mars 2022 - analyse coûts-bénéfices liée à l'utilisation de simulateurs de propagation du feu à l'échelle régionale dans le cadre du projet Med-Star et à l'échelle locale dans le cadre du projet Med-Foreste - calendrier de libération 	<ul style="list-style-type: none"> - Outils de communication préventive - population concernée 	<ul style="list-style-type: none"> - Expérimenter les zones d'interface (firewise communities) - Population touchée - coût de l'intervention de la bande de protection / ha 	<ul style="list-style-type: none"> - Véhicules prototypes dotés d'équipements et d'attelages permettant l'interopérabilité dans les situations d'urgence dans les zones frontalières Ligurie/Toscane - Ligurie/France - Corse/Sardaigne 	<ul style="list-style-type: none"> - Communauté forestière - Convention forestière - Task Force RDP (RL) - Modèle de Forestas (organisme gestionnaire de l'agence forestière) : manque de connexion entre le gestionnaire et l'organisme de planification ; - L'associationnisme foncier en Toscane - Communautés vertes (PNRR) - Démarrage de la gestion de parcelles forestières publiques et privées pour amortir les coûts de gestion et de planification (Partage de la forêt) 	<ul style="list-style-type: none"> - Contraintes de la surintendance du paysage, autorités du parc, - Fragmentation parcelles de forêt - Viabilité (caractère temporaire de la voie de la simplification de procédures d'autorisation)

Tableau 13. Contributions possibles des projets Med à la programmation des nouveaux appels FEADER 2021-2027

2.4 Contribution possibles des projets Med à la programmation en cours, notamment dans le cadre des appels FEADER 2022

La Région Ligurie a défini les nouveaux appels à propositions pour la période de programmation 2014/2022, qui sont en cours de finalisation, en mettant en œuvre en particulier l'appel à propositions relatif à la sous-mesure 8.3 sur la prévention des dommages par le feu ou d'autres catastrophes, en capitalisant certains résultats découlant de l'expérience de MED-Foreste. Au cours des phases de diffusion de l'appel, qui sont toujours en cours, on a notamment mis en évidence les différentes possibilités offertes par les techniques de réduction du combustible, y compris l'utilisation de pâturages situés à des endroits stratégiques pour protéger la forêt.

Propositions à apporter aux tables de concertation de la nouvelle programmation 2021-2027 des fonds grand public.

Comme mentionné ci-dessus, un certain nombre de partenaires de Med-Foreste siègent aux tables de consultation régionales du FEADER, et ils défendront les propositions présentées ci-dessous.

Fonds FEADER (Fonds pour le développement agricole régional)

1. Mise en place d'un système de suivi en temps utile, par mesure et sous-mesure, des nouveaux financements FEADER déboursés pour toutes les mesures forestières.
2. Simplification administrative de l'accès aux financements du FEADER, notamment pour les entités publiques, déjà partiellement mise en œuvre dans les nouveaux appels à propositions de la Regione Liguria.
3. Gérer le problème très répandu des terres non cultivées, souvent lié à la forte fragmentation de la propriété forestière, qui pourrait être en partie résolu en stimulant et en facilitant les associations foncières ou d'autres formes de regroupement juridique entre particuliers (par exemple, les communautés forestières, les conventions forestières) ou la délégation de la gestion, comme dans le cas de la start-up "Forest sharing". Cela a créé une plateforme de gestion forestière partagée, permettant l'agrégation entre particuliers et la valorisation conséquente de la forêt, sans devoir créer de nouvelles entités juridiques. Face à la perspective d'une crise énergétique, liée au désengagement du gaz russe, la valorisation de la forêt, tant pour l'autoconsommation que pour la vente de bois, pourrait représenter une source d'intérêt croissante pour les particuliers à gérer avec des outils innovants et respectueux des normes de gestion durable des forêts.
1. Amélioration de l'accessibilité des territoires, condition nécessaire tant pour la prévention et la lutte contre les incendies que, de manière générale, pour la viabilité économique de la gestion, pour les différentes fonctions attendues de la forêt (biens et services).

2. Élargissement des types de bénéficiaires des appels d'offres à l'ensemble des acteurs forestiers (par exemple, les start-ups telles que Forest sharing, les associations travaillant dans le domaine de la prévention des incendies, etc.)

Coordination des fonds FSE (Fonds social européen) et FEADER

Au cours de la dernière période de programmation, le plan de développement rural du FEADER a financé la formation des personnes travaillant déjà dans le secteur agricole et forestier, tandis que la formation des chômeurs ou des personnes ne travaillant pas encore dans le secteur agro-forestier a été déléguée au programme opérationnel du FSE, sans coordination adéquate entre les autorités de gestion régionales qui géraient les deux programmes. Dans la nouvelle période de programmation, il est souhaité soit une coordination entre les deux fonds, soit la possibilité d'une aide du FEADER pour des formations s'adressant également aux chômeurs ou aux personnes issues de secteurs autres que l'agriculture ou la sylviculture, en indiquant la source exclusive du FEADER par thème, quel que soit le bénéficiaire final de la formation.

Bibliographie

- Agee J.K., Lolley M. R., 2006. Thinning and prescribed fire effects on fuels and potential fire behaviour in an eastern Cascades Forest, Washington, USA. *Fire Ecology*, 2.
- Agee J.K., Skinner C.N., 2005. Basic principles of forest fuel reduction treatments. *Forest Ecology and Management* 211, 83–96.
- Agnoletti M., 2006 - The Development of a Historical and Cultural Evaluation Approach in Landscape Assessment: the dynamic of Tuscan Landscape between 1832 and 2004. In: M.Agnoletti ed. 2006, *The conservation of cultural landscapes*, CAB International, Wallingford and New York.
- Bovio G., Corona P.M., Leone V. (a cura di) 2014. *Gestione selvicolturale dei combustibili forestali per la prevenzione degli incendi boschivi*. Casa Ed. Compagnia delle foreste, Arezzo. Pagg. 208.
- Bytnerowicz A., Omasa K., Paoletti E., 2007 - Integrated effects of air pollution and climate change on forests: A northern hemisphere perspective. *Environmental Pollution*, 147 (3): 438-445.
- Cesti G., Oreiller P., Passini F., 2012. *Prevenzione degli incendi boschivi*. Rivista *Environnement, Ambiente e territorio in Valle d'Aosta*.
- Fenn M. E., Dunn P. H., 1989 – Litter decomposition across an air-pollution gradient in the San Bernardino Mountains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53, 1560-1567.
- Grulke N. E., Minnich R. A., Paine T. D., Seybold S. J., Chavez D., Fenn M. E., Riggan P. J., Dunn A., 2009. Air pollution increases forest susceptibility to wildfires: A case study in the San Bernardino Mountains in southern California. In: *Wildland Fires and Air Pollution*. Edited by Bytnerowicz A., Arbaugh M., Andersen C., Riebau A.. Elsevier Series “Developments in Environmental Science 8” Series Editor S. V. Krupa, Elsevier.
- Keane, Robert E.; Dickinson, Laura J. 2007. The photoload sampling technique: estimating surface fuel loadings from downward-looking photographs of synthetic fuelbeds. General Technical Report RMRS-GTR-190. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 44 p.
- Keyes CR, Varner JM (2006) Pitfalls in the silvicultural treatment of canopy fuels. *Fire Management Today* 66(3), 46–50.
- Keyes, C.R. 1996. Stand structures and silvicultural strategies to prevent crown fires in northern Rocky Mountain forests. Masters thesis. Missoula, MT: University of Montana.
- Lutes, D. C., R. E. Keane, J. F. Caratti, C. H. Key, N. C. Benson, S. Sutherland, and L. J. Gangi. 2006. FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture Forest Service. Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-164CD.
- Marchi E., 2009. Comportamento ed effetti degli incendi boschivi in rapporto alla gestione del combustibile. Atti del Convegno "La gestione della difesa dagli incendi boschivi", Vallombrosa 19-20.6.2009. Osservatorio Foreste e Ambiente, I Quaderni, 9: 35-42.
- Massaiu A., Tiger M., 2022. *Guide de sylviculture pour la prévention des incendies en Corse*. Editions Cardères, xx p in corso di pubblicazione.
- Mazzoleni S., Migliozi A., Ricotta C., Bajocco S., Di Pasquale G., Saracino A., 2009. Boschi di neoformazione e nuovi scenari di propagazione d'incendio. In: *Atti del Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura*, Volume I, Taormina: 372-377.

- Omi P. N., Martinson E. J., 2002 – Effect of fuels treatment on wildfire severity. Final report, Western Forest Fire Research Centre, Colorado State University.
- Omi P. N., Martinson E. J., 2004 - Effectiveness of thinning and prescribed fire in reducing wildfire severity. Proceedings of the Sierra Nevada science symposium: Science for management and conservation, ed. D. D. Murphy and P. A. Stine. General technical report PSW-193. Albany, Calif.: USDA Forest Service.
- Paoletti E. 2005 - Ozone slows stomatal response to light and leaf wounding in a Mediterranean evergreen broadleaf, *Arbutus unedo*. *Environmental Pollution*, 134 (3): 439-445.
- Pollet J., Omi. P. N., 2002 - Effect of thinning and prescribed burning on crown fire severity in ponderosa pine forests. *International Journal of Wildland Fire* 11:1-10.
- PPFENI 2013-2022. Plan de Prévention des Forêts et des Espaces Naturels contre les Incendies de la Corse.
- Raymond C. L., Peterson D.L., 2005 – Fuel treatments alter the effects of wildfire in a mixed-evergreen forest, Oregon, USA. *Canadian Journal of Forest Research*, 35: 2981-2995.
- Rego F., Rigolot E., Fernandez P., Montiel C., Sande Silva J., 2010. Verso la gestione integrata del fuoco. EFI Policy Brief 4.
- Scott, J.H. 1998. Fuel reduction in residential and scenic forests: A comparison of three treatments in a western Montana ponderosa pine stand. Res. Pap. RMRS-RP-5. Ogden, UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Silva J. S., Fernandes P., Vasconcelos J., 1999 – The effect on surface fuels and fire behavior of thinning a pinus pinaster stand in central Portugal. Proceedings of the Joint Fire Science Conference and Workshop: “Crossing the Millennium: Integrating Spatial Technologies and Ecological Principles for a New Age in Fire Management”, Boise, ID (USA), 15-17 June. Published by University of Idaho and International Association of Wildland Fire.
- Stephens S.L., Moghaddas J. J., 2005 – Experimental fuel treatment impacts on forest structure, potential fire behaviour, and predicted tree mortality in a California mixed conifer forest. *Forest Ecology and Management*, 215, 21-36.
- Stephens, S.L. 1998. Evaluation of the effects of silvicultural and fuels treatments on potential fire behavior in Sierra Nevada mixed-conifer forests. *Forest Ecology and Management*. 105: 21-35.
- van Wagtenonk J. W., 1996. Use of a deterministic fire growth model to test fuel treatments. In: Sierra Nevada Ecosystem Project: Final report to Congress, Volume II, Chapter 43. Univ. Calif., Davis, Wildland Resources Center Rep. 37. 1528 p.
- Van Wagner C.E., 1977. Conditions for the start and spread of crown fire. *Canadian Journal of Forest Research*, 7(1): 23-34.
- Van Wagner C.E., 1989. Prediction of crown fire in conifer stands. In ‘Proceedings of the 10th Conference on Fire and Forest Meteorology’, 17-21 April 1989, Ottawa, ON. (Eds DC MacIver, H Auld, R Whitewood) pp. 207-212. (Forestry Canada and Environment Canada: Ottawa, ON) http://nofc.cfs.nrcan.gc.ca/bookstore_pdfs/10533.pdf
- Van Wagner C.E., 1992. Prediction of crown fire in two stands of jack pine. *Canadian Journal of Forest Research*, 23:442 – 449.