

## 2 STATO DELL'ARTE

---

### 2.1 L'INCENDIO DI CALCI

Iniziato nella notte tra il 24 Settembre alle 22.00 e propagatosi il 25 Settembre 2018, l'incendio del Monte Serra ha interessato una superficie totale di circa 1148 ettari. E' classificabile come incendio di vento e topografico date le elevate velocità raggiunte dalle raffiche di vento e le elevate pendenze dei versanti interessati.

L'incendio è partito nei pressi della località Le Porte, nel comune di Calci, all'interno di una densa fustaia di pino marittimo, si è propagato in chioma verso sud ovest, portato dal forte vento di grecale ed influenzato dalla topografia, arrivando a lambire l'abitato di Tre Colli/Castelmaggiore ed interessando vaste aree di interfaccia urbana vicine al capoluogo di Comune. Per la Toscana è purtroppo l'evento più esteso degli ultimi 25 anni.

L'incendio boschivo ha percorso in ciascun comune le seguenti superfici: Comune di Calci 832 ettari; Comune di Vicopisano 298 ettari; comune di Buti 18 ettari.

I dati AIB-Regione Toscana riportano che nei giorni di attività, tra spegnimento, bonifica e controllo dell'area interessata dalle fiamme, l'Organizzazione regionale antincendi boschivi ha garantito l'intervento di 580 squadre per un totale di 1.350 tra volontari e operai forestali.

I direttori delle operazioni (DO AIB che sull'incendio coordinano mezzi aerei nazionali, elicotteri regionali e squadre terrestri) che si sono avvicendati nei turni giornalieri e notturni erano 4 per ogni turno (40 in tutto), supportati da analisti AIB e logisti. I mezzi utilizzati sono stati circa 500 pick-up attrezzati AIB e oltre 50 autobotti.

Per quanto riguarda i mezzi aerei, nei giorni 25 e 26 settembre hanno operato in contemporanea sulla zona fino a 12 mezzi: 5 elicotteri della flotta regionale, 5 canadair e 2 elicotteri della flotta nazionale, inviati dal Dipartimento di protezione civile nazionale.

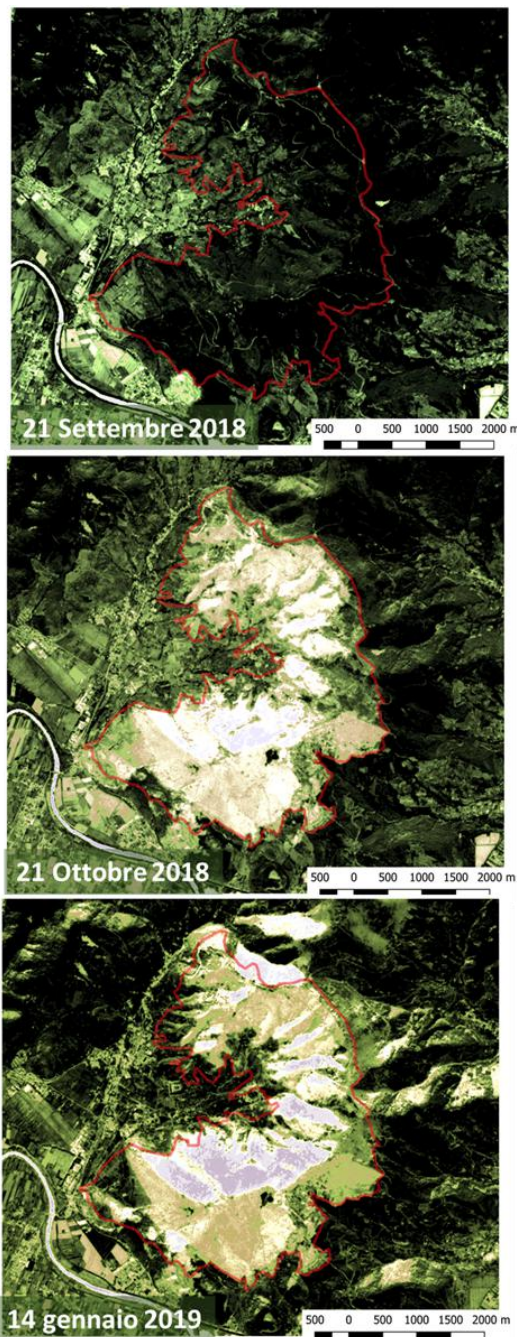
L'incendio in sé è stato messo sotto controllo nell'arco di 48 ore. Il vento è spirato con raffiche di  $14 \text{ ms}^{-1}$  ( $50 \text{ kmh}^{-1}$ , grado 7 della scala di Beaufort), prima da Nord-Nord Est, poi, a partire dalla mattina del 25 Settembre, sempre con velocità prossime ai  $14 \text{ ms}^{-1}$ , da Est.

Sono stati stimati, dagli operatori antincendio boschivo, picchi di velocità, non registrati dagli anemometri delle stazioni meteorologiche convenzionali, prossimi ai  $22 \text{ ms}^{-1}$  ( $80 \text{ kmh}^{-1}$ , grado 9 della scala di Beaufort).

Le operazioni di controllo e spegnimento sono state particolarmente complesse proprio a causa della velocità del vento e, di conseguenza, del fronte di fiamma, aggravato

dalle condizioni topografiche che hanno determinate accelerazioni locali della propagazione del fuoco estremamente rapide. Ciò ha determinato un avanzamento di oltre 500 mh-1 del fronte di fuoco nei periodi di maggior propagazione. Ulteriori componenti che hanno influito in maniera decisiva sull'espandersi dell'incendio, sono riconducibili alla struttura dei boschi presenti, molto densi, con notevole biomassa combustibile accumulata nei vari settori del profilo verticale e a copertura continua in larghi tratti della superficie percorsa dal fuoco. Ciò ha determinato un pressoché immediato passaggio da fuoco radente a fuoco di chioma. Si aggiunga la bassa umidità relativa dell'aria (40% circa alle 21:00 del 24 Settembre) e una serie di 30 giorni con precipitazioni cumulate non superiori ai 30 mm, condizioni, queste, che hanno fatto salire il valore di *Drought Code* (DC) in un intervallo compreso tra 750 e 800.

Infine ha influito in maniera decisiva anche l'orario di inizio dell'incendio. L'ora notturna ha precluso un intervento tempestivo dei mezzi aerei che non hanno avuto l'autorizzazione al volo fino alla mattina del 25 Settembre. Ulteriore fattore di aggravamento delle condizioni di propagazione dell'incendio è stato il verificarsi di numerosi spotting (o salti di fuoco), in virtù dell'effetto delle forti raffiche di vento sul fuoco di chioma. Gli spotting hanno coperto distanze notevoli, fino a 7 km di distanza dal corpo di fuoco, tanto che altri numerosi e piccoli inneschi di incendio sono divampati fino alle porte di Pisa, nei comuni di Cascina e Vicopisano. Sono state ben 700 le persone evacuate e 11 le abitazioni colpite di cui 5 completamente distrutte.



*Fig. 1 Immagini satellitari rielaborate per l'indice NDVI nell'area percorsa dall'incendio di Calci del 24 settembre 2018. Le tonalità grigie corrispondono a valori pari o prossimi allo 0 mentre le tonalità gradualmente più scure indicano valori crescenti fino ad 1 (valore massimo dello stato della vegetazione)*

Una prima valutazione degli effetti dell'incendio sul paesaggio del tratto orientale del Monte Pisano può essere fatta con la rielaborazione di immagini satellitari attraverso il calcolo dell'indice NDVI. Le piante assorbono e riflettono la radiazione solare in modo diverso nelle differenti lunghezze d'onda. In particolare le foglie riflettono poco la luce rossa visibile e riflettono molto di più l'infrarosso vicino. Il Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) è un indice legato allo stato di sviluppo della vegetazione, che viene calcolato a partire dalla riflessione del rosso e dell'infrarosso. Il modo in cui tali lunghezze d'onda vengono riflesse, e quindi di conseguenza l'NDVI, variano durante il ciclo di sviluppo delle piante oppure per coperture vegetali sostanzialmente diverse. I

valori dell'indice oscillano fra -1 e 1. Valori negativi di NDVI corrispondono all'acqua. Valori prossimi allo zero (da -0,1 a 0,1) corrispondono generalmente a zone aride con roccia, sabbia o neve. Infine, valori positivi e bassi rappresentano arbusti e pascoli (circa tra 0,2 e 0,4), mentre i valori alti indicano foreste (valori che si avvicinano 1).

Nel caso specifico dell'immagine in fig. 1 si osserva il drastico cambiamento di NDVI, come rielaborato da immagini satellitari SENTINEL2 da qualche giorno prima dell'incendio ad un mese dopo. I valori pari a 0 coincidono con colorazioni grigiastre e sono, quindi, del tutto assimilabili a deserti o roccia.

In fig. 2 viene riproposta l'immagine della scia di ceneri generata dall'incendio del 24 Settembre. Come è facilmente osservabile, la scia interessa una fascia di atmosfera lunga 200 km circa con ampiezza variabile dai 5 ai 15 km. Si può altresì notare la massima intensità della scia dal punto di genesi fino alla costa tirrenica.



*Fig. 2 Immagine satellitare del 25/09/2018 relativa alla scia della nube di ceneri, vapore e particolato generata dall'incendio di Calci del 24/09/2018*

In effetti, una componente specifica degli incendi è l'effetto di trasporto di inquinanti a distanze più o meno ampie dal punto di insorgenza del fuoco e le ricadute che tali sostanze, trasportate in forma di ceneri e particolato, possono avere sulla salute umana.

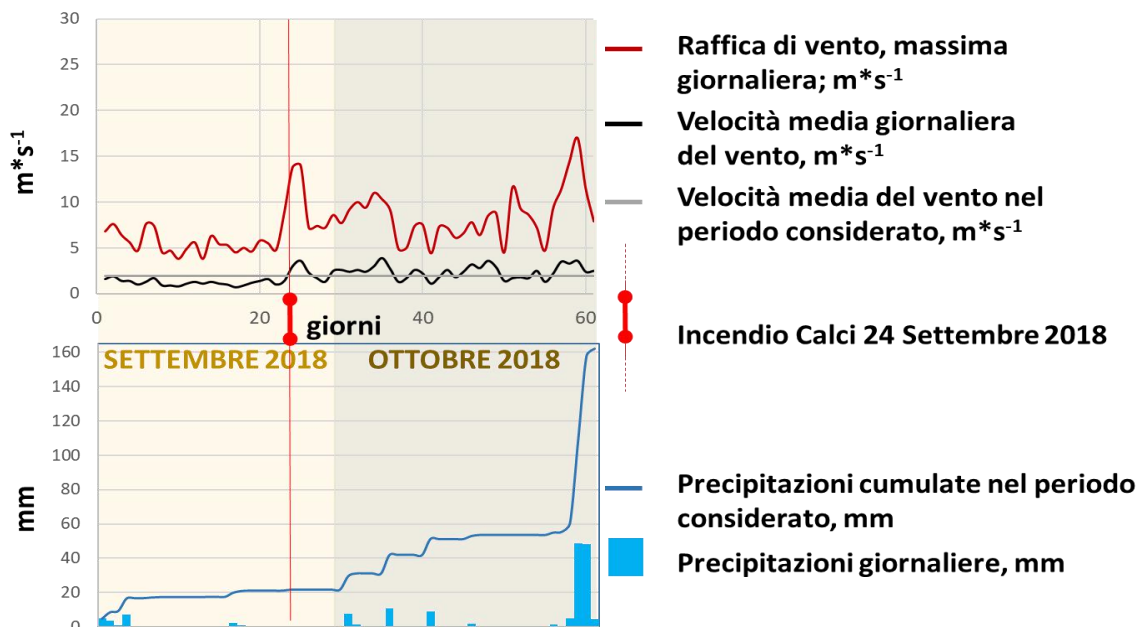


Fig. 3 Trend della velocità del vento e delle precipitazioni di settembre e ottobre

A partire dal giorno dell'incendio si nota una serie molto accentuata di eventi di vento, con raffiche massime giornaliere di velocità sempre superiore ai  $5 \text{ ms}^{-1}$  e velocità medie giornaliere comunque discretamente alte. Le elevate velocità seguono e si affiancano ad un periodo piuttosto secco dove le precipitazioni (si vedano le precipitazioni cumulate in fig. 3) rimarranno molto contenute fino alla fine di ottobre. La persistenza di condizioni di alta velocità e di scarse precipitazioni può aver favorito un aumento drastico del trasporto di ceneri e particolato. Purtroppo l'accesso a dati di ricovero ospedaliero, di farmaci richiesti oppure di prescrizioni per malattie respiratorie non è al momento disponibile. Non è quindi possibile, allo stato attuale, un riscontro effettivo sulla base dei dati del sistema sanitario regionale relativamente agli effetti dell'incendio sulla salute delle persone.

## 2.2 L'INCENDIO DI VICOPISANO

A rendere ulteriormente grave la situazione del Monte Pisano, il 25 febbraio 2019 un secondo incendio ha interessato il versante Sud orientale per oltre 200 ettari di pineta, nel territorio del Comune di Vicopisano. L'incendio, il cui innesco è stato attribuito all'abbruciamento di sterpaglie in località Scassi, si è propagato in direzione Ovest Sud-Ovest sospinto dal forte vento di grecale. La bassa umidità dei combustibili vegetali causata dalla scarsità di precipitazioni in combinazione con il vento ha generato velocemente le condizioni favorevoli a fenomeni di *spotting* (il primo registrato dopo



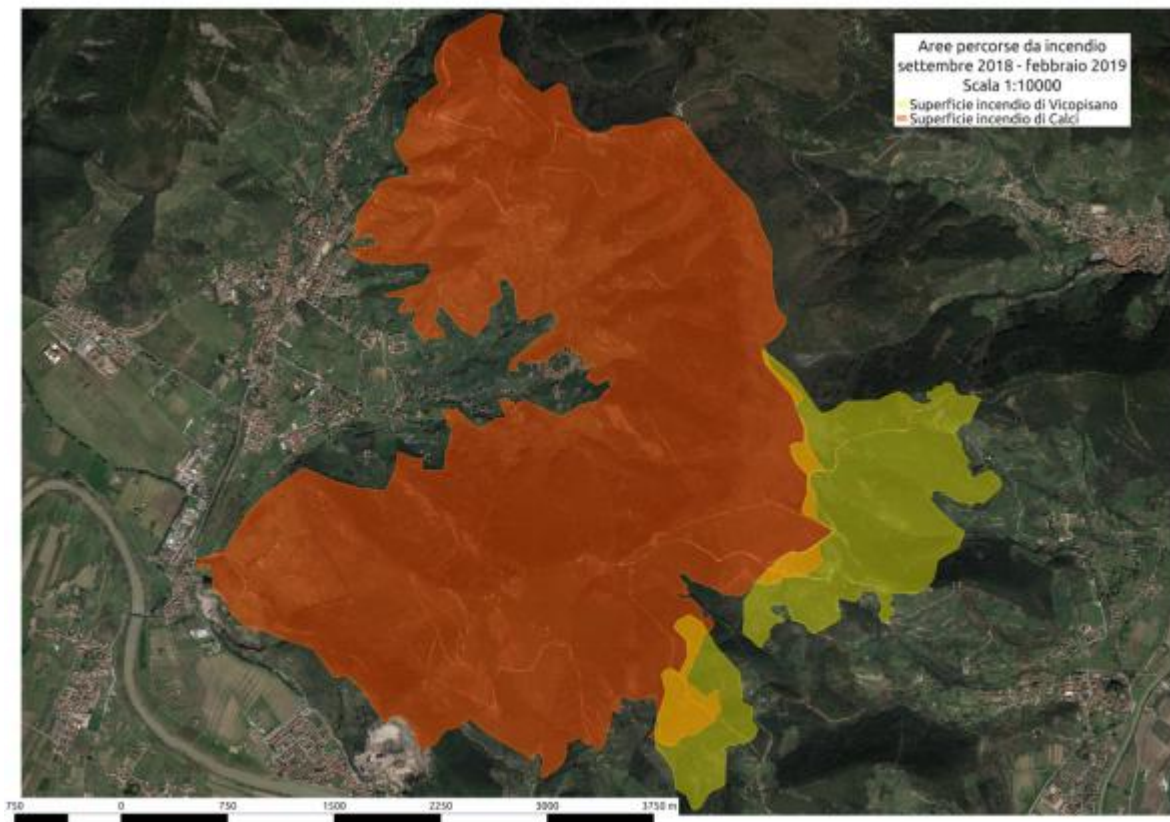
circa mezz'ora dall'inizio dell'incendio - Figura 4), interessando rapidamente le località Le Mandrie, Coli e Lugnano, imponendo l'evacuazione di 10 famiglie residenti. L'estinzione, conclusa il giorno successivo, ha visto coinvolte numerose squadre a terra, tre Canadair della flotta nazionale e due elicotteri regionali. Le fasi di bonifica e messa in sicurezza del perimetro sono state effettuate durante i successivi due giorni.



*Fig. 4 Primo fenomeno di spotting nel procedere dell'incendio di Vicopisano del febbraio 2019*



*Fig.5 Situazione dell'incendio di Vicopisano nel pomeriggio del 25 febbraio 2019*



*Fig.6 Superfici interessate dai due eventi di incendio.*

### 2.3 CARTA DEGLI INTERVENTI DI SALVAGUARDIA REALIZZATI

A seguito dei due incendi che hanno interessato l'area del Monte Pisano l'Amministrazione Regionale ha provveduto ad una serie di interventi volti alla messa in sicurezza dell'area, col fine di arginare le quelle situazioni di emergenza in termini di rischio idrogeologico e di tenuta dei versanti. I tipi di intervento effettuati, riportati nella rappresentazione cartografica di figura 7, sono stati:

1) taglio del materiale vegetale bruciato, effettuato sui soggetti morti o deperienti, per lo più arborei e realizzato principalmente lungo le viabilità di ogni tipo esistenti, per fasce per quanto possibile parallele alle curve di livello. Gli alberi sono stati abbattuti a partire da valle e procedendo verso monte ad un'altezza di 80 – 100 cm in modo tale che le ceppaie rilasciate sono servite da supporti per i tronchi sistemati a palizzata. Nei primi 20 m dal margine della viabilità le piante sono state abbattute in modo da cadere trasversalmente alle curve di livello e formare delle palizzate per la trattenuta di massi e, per quanto possibile, delle colate di fango. Procedendo verso monte le piante sono state abbattute e sistemate al suolo a "spina di pesce", ovvero, in posizione obliqua rispetto alle curve di livello. I rami e la ramaglia più fine sono state sistemate a tamponare eventuali fessure tra i tronchi ed il suolo o sparse a terra per fornire un riparo al terreno dalla forza della pioggia battente.

2) realizzazione di opere di consolidamento dei versanti attraverso l'impiego di parte dei rami degli alberi e dei fusti degli arbusti ceduati che sono stati utilizzati per formare brevi palificate o basse staccionate, disposte a "spina di pesce" e sfalsate tra loro soprattutto lungo il fondo e sui fianchi delle principali linee di impluvio. Tali piccole opere sono state tamponate con il materiale lapideo, presente in abbondanza. Sono stati ripristinati, con attrezzi manuali o con mezzi d'opera meccanici, i principali fossi di guardia o muretti di contenimento presenti nelle aree più sensibili dei versanti. Dove la severità dell'incendio è stata più elevata e non vi è stata la possibilità di utilizzare materiale vegetale bruciato sono stati realizzati dei piccoli gradoni lungo le curve di livello.

3) realizzazione di opere di sistemazione idraulico-forestale, lungo i principali impluvi o aste torrentizie in scavo. Utilizzando il legname proveniente dal depezzamento delle piante arboree sono state costruite delle semplici brigliette o soglie costituite da 2 - 3 correnti posti trasversalmente all'alveo e due ritti di tenuta a monte. I correnti sono stati trattenuti a valle dai versanti dell'impluvio nelle zone dove si verificano dei restringimenti



delle sponde o da alberi ed arbusti saldamente ancorati al terreno. Le brigliette così realizzate sono state tamponate con pietrame reperito in alveo.

4) ripristino e adeguamento della rete viaria forestale: parte della viabilità forestale di servizio alle aree percorse dal fuoco è stata per lunghi tratti seriamente colpita direttamente dal passaggio delle fiamme, infatti, le opere in legname che erano state realizzate per la trattenuta della scarpata di valle sono state bruciate o soggette a pirolisi se inserite orizzontalmente o verticalmente nel terreno. In seguito a tali danni le scarpate e le banchine di valle sono state rese instabili o hanno ceduto creando profonde fessure o buche nel piano viario. Sono stati impiegati mezzi movimento terra per la risistemazione delle scarpate e del piano viario, per la ripulitura delle cunette laterali e degli attraversamenti. Questi interventi di ripristino della viabilità sono risultati necessari da subito per poter permettere la circolazione sui versanti dei mezzi fuoristrada delle squadre di operai forestali che devono raggiungere rapidamente il luogo di lavoro assegnato. Constatata inoltre la carenza di viabilità sui versanti immediatamente a monte della frazione di San Jacopo ed in località Piticco, sono stati individuati n.2 segmenti strategici di sentieristica/viabilità forestale pubblica che sono stati trasformati in un'ampia linea di penetrazione forestale per permettere la veloce realizzazione di interventi di taglio piante, consolidamento superficiale e realizzazione di puntuali brigliette.

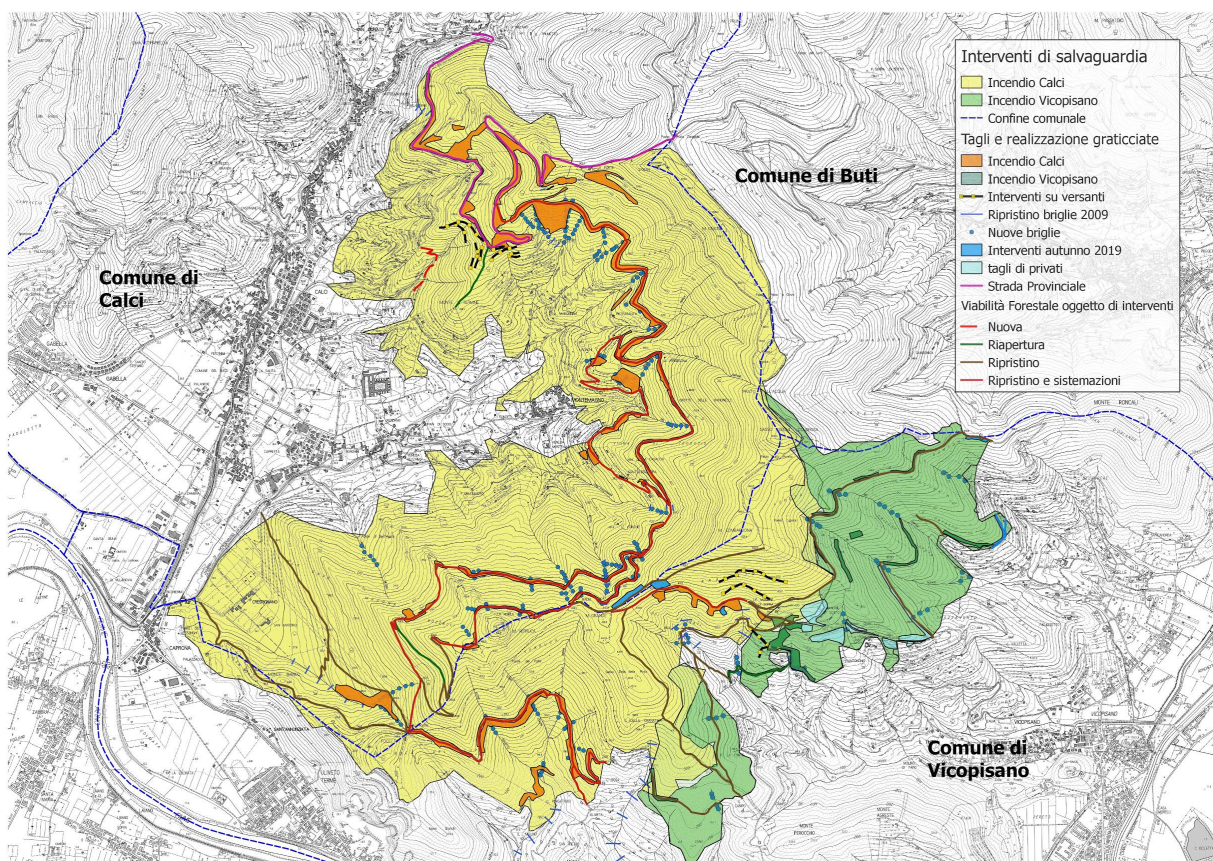




Fig. 7: Distribuzione degli interventi di messa in sicurezza effettuati tra ottobre 2018 e luglio 2019.

## 2.4 CARTA DELLA FREQUENZA DI INCENDI

Il paesaggio vegetale spontaneo, ovvero l'insieme delle fitocenosi boschive, arbustive, erbacee e dei coltivi abbandonati da tempo, preesistente agli incendi del 2018 e del 2019 è in larghissima parte di derivazione post-incendio. La cartografia diacronica degli incendi dal 1970 ad oggi (Figura 8) evidenzia come solo un settore (pari circa al 10% della somma delle aree incendiate durante gli ultimi 50 anni) sembra essere stato escluso dal passaggio del fuoco.

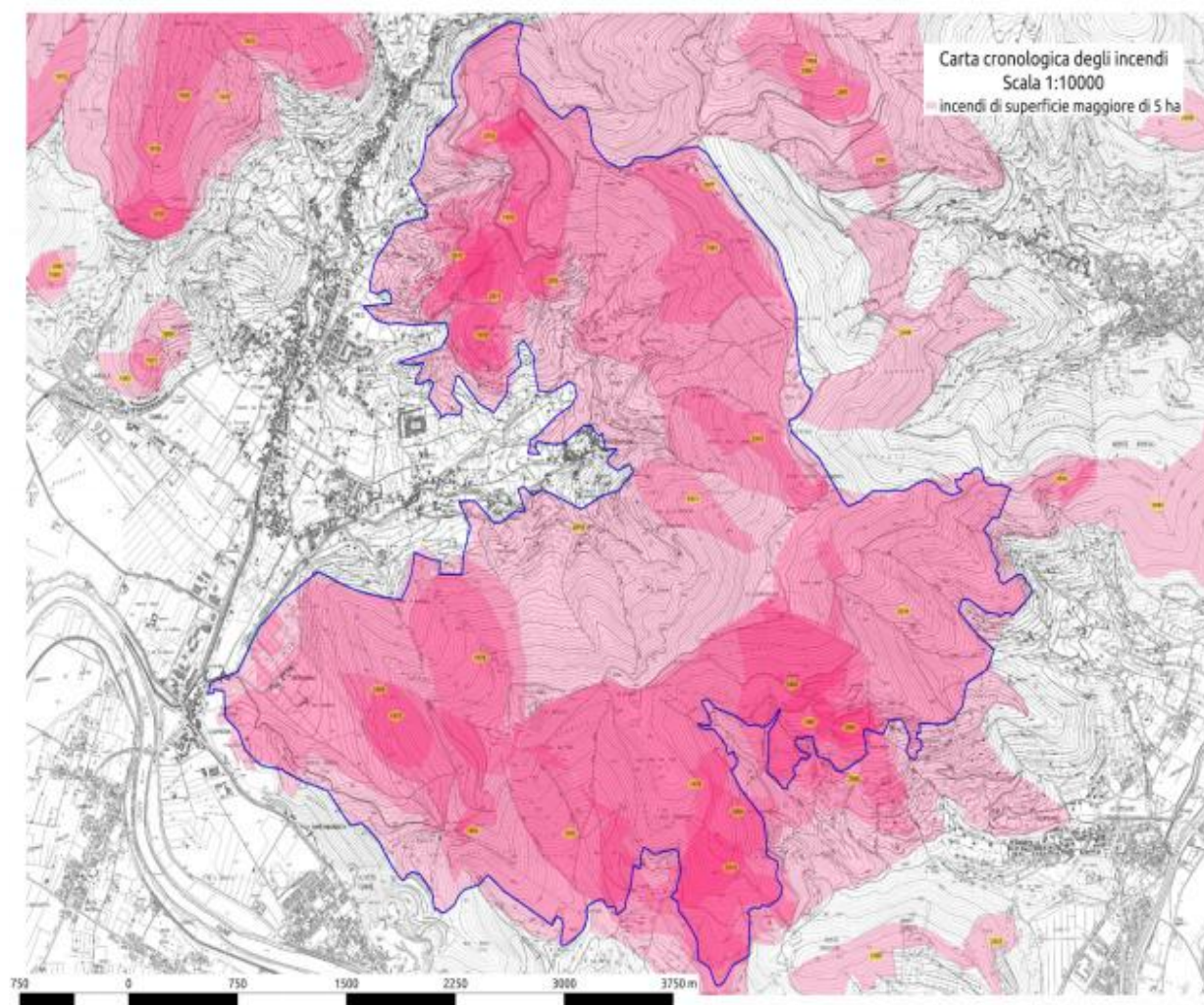


Fig. 8: Distribuzione temporale degli eventi di incendio di superficie maggiore di 5 ha. Il tematismo rappresenta con tonalità di colore crescente la maggiore frequenza del passaggio di incendi.

## 2.5 CARTA DELLA VEGETAZIONE PREESISTENTE

Le due formazioni maggiormente rappresentate prima del passaggio dei due incendi erano costituite da pineta di pino marittimo e macchie post-incendio. Anche nel caso di pineta, nella maggior parte dei casi, si trattava di impianti percorsi, spesso più volte, dal fuoco, con una vasta gamma di stadi di maturazione diversi. In questo contesto, le macchie post-incendio, dove non si erano susseguiti troppi incendi o, comunque quelle più mature, mostravano un corteggio floristico di gran lunga più ricco e una stratificazione più complessa delle paucispecifiche pinete, sino ad essere (ad es. nella valle di Crespignano) in alcuni casi evolute a macchie alte a leccio-sughera<sup>1</sup>. Gli altri tipi, castagneti, castagneti coniferati e boschi di latifoglie miste sembrano essere state nel corso del tempo meno interessate o attraversate con minore severità dal fuoco.

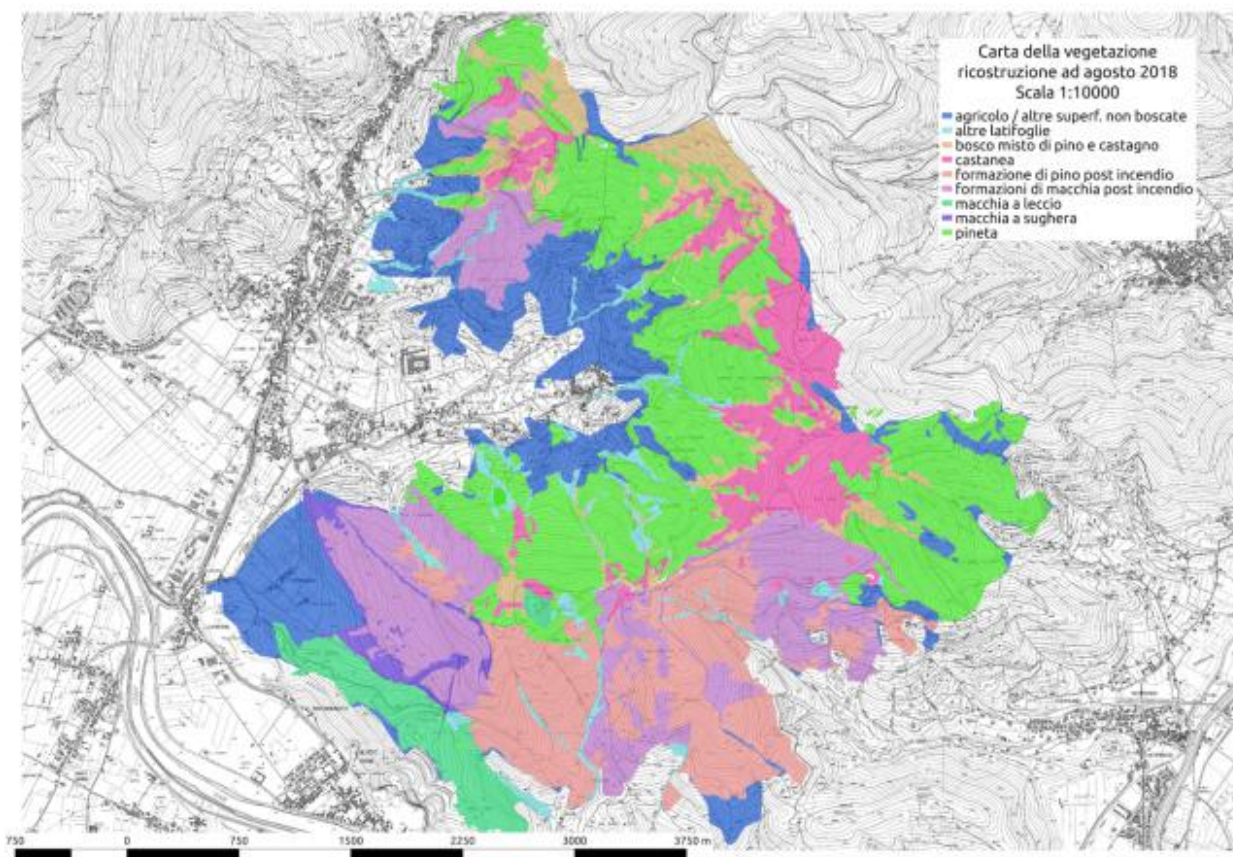


Fig. 9: Carta della vegetazione ad agosto 2018 (rielaborazione tematismi vegetazionali su rilevamenti della primavera 2018).

<sup>1</sup> La vegetazione del Monte Pisano, Bertacchi, Sani, Tomei 2004, Felici Ed, Pisa

## 2.6 CARTA DELLA SEVERITÀ DEGLI INCENDI

La severità di un incendio dipende per larga parte dalla natura del combustibile che brucia e dalle caratteristiche termodinamiche della combustione. Secondo Keeley, infatti, con “*fire severity*” si indica la quantità di sostanza organica, sopra e sotto la superficie del terreno, consumata dal fuoco. Recentemente è stato sviluppato il concetto di “*burn severity*”, spesso è usato in alternativa a “*fire severity*” che, oltre ad indicare la quantità di sostanza organica decomposta, assume maggior specificità, rappresentando la severità relativa alla vegetazione (“*vegetation burn severity*”) oppure al suolo (“*soil burn severity*”)<sup>2</sup> (Keeley, 2009). La valutazione della severità dell’incendio è stata effettuata utilizzando dati telerilevati da immagini Sentinel-2, calcolando l’indice RBR<sup>3</sup> (*Relativized Burn Ratio* -Parks, Dillon, & Miller, 2014) basato sulla differenza di risposta radiometrica tra le lunghezze d’onda dell’infrarosso vicino (NIR) e l’infrarosso ad onda corta (SWIR) misurate precedentemente e successivamente il passaggio del fuoco. Dato l’indice NBR (*Normalized burn ratio*) come differenziale tra le suddette lunghezze d’onda, secondo l’equazione:

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

RBR sarà calcolato secondo l’equazione:

$$RBR = \frac{NBR_{pre} - NBR_{post}}{NBR_{pre} + 0.001}$$

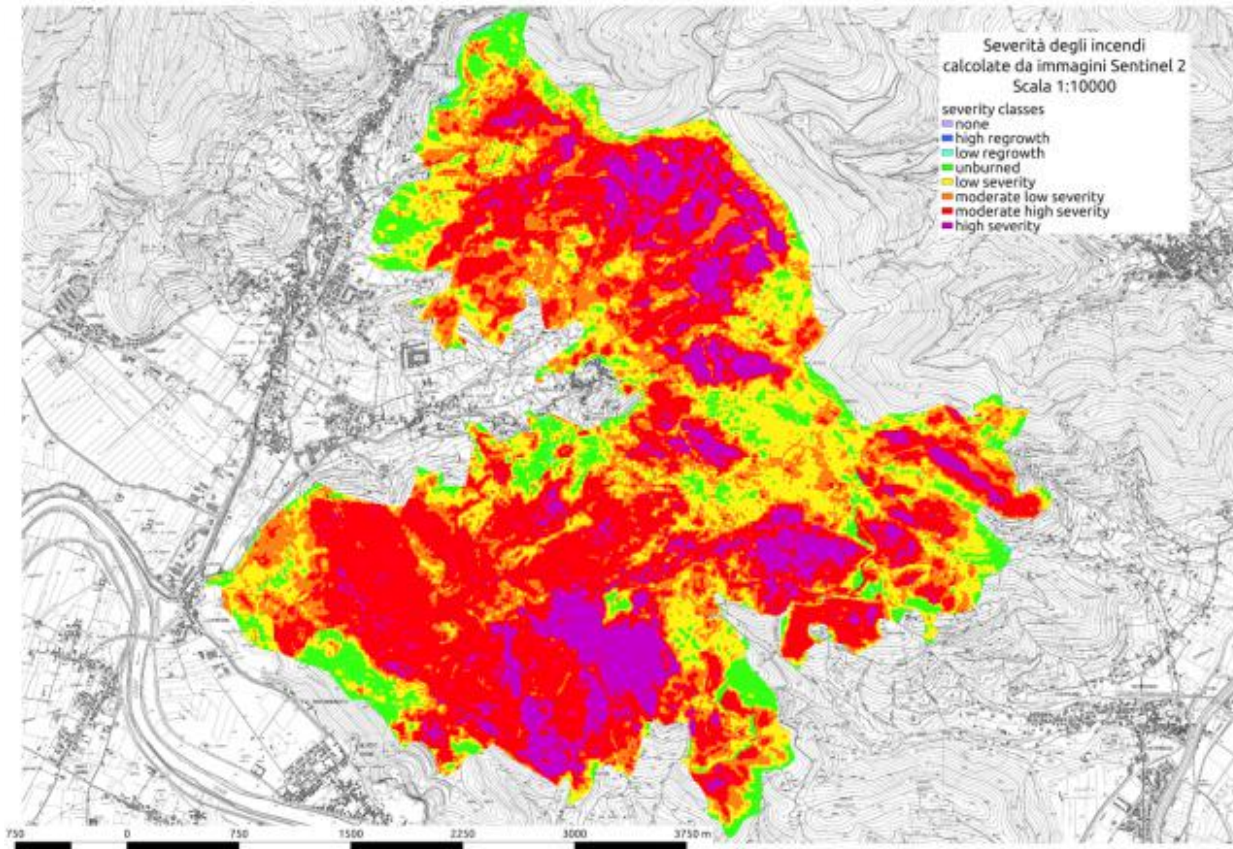
L’indice RBR rappresenta una misura relativizzata della severità, che risulta sensibile ai cambiamenti anche in caso di ridotta copertura vegetale, inoltre, aggiungendo 0.001 al denominatore viene assicurato che il denominatore sia diverso da zero, in tal modo si evita che l’equazione tenda all’infinito e risulti inefficace.

---

<sup>2</sup> Keeley, J. E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire*, 18(1), 116–126. <https://doi.org/10.1071/WF07049>

<sup>3</sup> Parks, S. A., Dillon, G. K., & Miller, C. (2014). A new metric for quantifying burn severity: The relativized burn ratio. *Remote Sensing*, 6(3), 1827–1844. <https://doi.org/10.3390/rs6031827>





*Fig. 10: Carta della severità degli incendi elaborata da immagini Sentinel2 attraverso il calcolo di RBR*

La carta della severità evidenzia la distribuzione del danno causato dal passaggio del fuoco ai sistemi naturali. I danni e la morte della vegetazione, in particolare del soprassuolo forestale, variano all'interno di uno stesso incendio e dipendono dal comportamento del fuoco, dalla durata dell'evento e dalla quantità di calore prodotto; in funzione anche delle condizioni del soprassuolo. Una severità medio-alta può portare infatti ad un forte danneggiamento degli alberi e della vegetazione fino alla loro morte. Dall'analisi della distribuzione dell'indice RBR risulta che oltre il 50% della superficie interessata dai due incendi ha registrato livelli di severità compresi tra "medio alta" e "alta".