

# CAPITOLO 1

## Incendi boschivi e infrastrutture critiche

**Federica Pascucci** - *Dipartimento di Informatica e Automatica - Università di Roma Tre*  
*Via della Vasca Navale n. 79, Roma - [pascucci@dia.uniroma3.it](mailto:pascucci@dia.uniroma3.it)*

**Roberto Setola** - *Complex System & Security Lab - Università CAMPUS BioMedico di Roma*  
*via A. del Portillo n. 21, Roma - [r.setola@unicampus.it](mailto:r.setola@unicampus.it)*

### Sommario

Nelle società moderne le diverse infrastrutture tecnologiche giocano un ruolo crescente per il benessere della popolazione. Ciò impone la necessità di considerare le diverse minacce che possono affliggere le funzionalità al fine di prevenirne sia gli effetti diretti ma anche quelli indiretti. Sono soprattutto questi ultimi, legati ai fenomeni a cascata o domino, che necessitano di maggiore attenzione sia per la loro innovatività che per le potenziali conseguenze. Nel contesto degli incendi boschivi, queste considerazioni portano da un lato a riconsiderare il concetto di area di interfaccia e dall'altro impongono di considerare la presenza di tali infrastrutture nella gestione degli incendi al fine di minimizzare l'impatto negativo sulla popolazione. Questo capitolo effettua una disamina di tali problematiche partendo dalla similitudine esistente fra i malfunzionamenti che affliggono le infrastrutture critiche e gli incendi boschivi entrambi modellabili mediante leggi di potenza che implicano la fragilità di questi complessi sistemi a eventi di carattere catastrofico che, seppur rari non possono essere trascurati.

### Introduzione

Gli incendi giocano un ruolo fondamentale nell'organizzazione dell'ecosistema terrestre, sia a livello di singola pianta che a livello dell'intero pianeta. Sebbene l'importanza degli incendi sia generalmente sottostimata, comportamenti e adattamenti della natura ad eventi connessi con il fuoco possono essere osservati ovunque. L'evoluzione di specie vegetali diverse tra loro spesso a contatto con il fuoco ha portato allo sviluppo di strategie di difesa (ad esempio, una corteccia più spessa). Alcune piante hanno fatto del fuoco un elemento indispensabile per la loro riproduzione: per alcune la germinazione dei semi è legata alla presenza di agenti chimici propri del fumo mentre per altre (conifere) la germinazione dipende dall'esposizione a forte calore. Su scala più ampia, la presenza di frequenti incendi condiziona fortemente la distribuzione della differente vegetazione nei diversi biomi.

Sebbene si abbia una discreta conoscenza su come si caratterizzi il comportamento di un incendio ed i suoi effetti a differenti livelli, molta meno attenzione è stata data all'interazione

tra questi effetti e a come le proprietà emergenti degli ecosistemi siano generate. Lo studio sulla distribuzione delle vegetazioni negli spazi di un ecosistema ed il rischio di incendio rimane ancora oggi una frontiera nella prevenzione degli incendi mediante previsione.

Un altro aspetto da considerare è la relazione tra rischio di incendio e le così dette infrastrutture critiche. Infatti se è sviluppata una letteratura tecnica sugli incendi e la loro gestione nelle zone di interfaccia tra aree urbanizzate e boschive, pochi sono gli studi riguardanti le relazioni tra gli incendi boschivi e le infrastrutture critiche. Infatti da un lato queste infrastrutture penetrano all'interno delle aree boschive o le lambiscono potendo essere una potenziale causa di innesco, ma soprattutto un loro danneggiamento legato alla presenza e/o al contrasto dell'incendio potrebbe provocare ripercussioni a cascata di crescente rilevanza. Infatti tali infrastrutture sono sempre più indispensabili per la sopravvivenza delle moderne società. Nel vasto incendio che colpì la California le aree boschive intorno Los Angeles nel 2008, la maggior parte dei disagi per la popolazione fu data dai malfunzionamenti di alcune infrastrutture. L'Interstate 5, arteria che collega la California da nord a sud, fu chiusa al traffico, alcuni ospedali furono evacuati ed infine furono disattivate per precauzione alcune linee dell'alta tensione che portano a Los Angeles corrente elettrica da centrali fuori dallo stato ricorrendo a blackout programmati. Anche in Italia spesso ci si è trovati a fronteggiare situazioni simili: le cronache estive ci hanno abituato alla presenza di incendi boschivi nelle "regioni calde", quali la Sicilia, la Sardegna, la Calabria. Nel 2012 le fiamme di incendio a Contessa Entellina hanno distrutto una cabina elettrica provocando un black-out in una vasta area. Lo stesso anno, Palermo è stata a rischio black-out per un incendio nei pressi della centrale idroelettrica di Falsomiele, mentre nel 2007 lo stesso rischio si è tramutato in realtà a causa di un incendio che ha mandato in tilt il sistema viario cittadino per mancanza di semafori. Anche il nord d'Italia non sfugge ad eventi simili: nel 2011 il tratto autostradale sull'Autofiori tra Vado Ligure e Spotorno fu chiuso in via precauzionale per il fumo proveniente dall'incendio sulle colline di Vado Ligure, nel savonese.

Questi ed altri episodi evidenziano come da un lato la presenza di queste infrastrutture, in special modo quelle di trasporto (viarie e ferroviarie) possono essere una con-causa dell'innesco il più delle volte a causa di comportamenti incivili dei viaggiatori. D'altro canto la rilevanza sistemi giocate da queste infrastrutture impongono alle strategie di contenimento dell'incendio di prestare attenzione alla loro ubicazione al fine di prevenirne l'interruzione e garantirne la sicurezza.

D'altro canto le rete elettriche, soprattutto quelle di alta ed altissima tensione, attraversano aree boschive anche in siti molto lontani dalle aree urbanizzate. In presenza di incendi, al fine di tutelare l'incolumità del personale in sito, è necessario procedere ad una loro preventiva disconnessione. Il che può comportare, blackout in aree più o meno vaste oltre che porre il sistema elettrico in una configurazione di maggiore fragilità. Di converso le aree di rispetto che generalmente vengono poste in essere in prossimità delle principali elettrovie possono costituire, se opportunamente gestiti, punti di rottura per il fronte del fuoco. Tutti questi aspetti vanno

opportunamente considerati al momento di progettare una strategia di prevenzione, contenimento e gestione degli incendi boschivi.

Un discorso a parte meritano le altre reti energetiche ed in particolar modo gli oleodotti in quanto, soprattutto in alcune aree del globo, le attività illecite di spilling sono fra le principali cause di innesco di incendi con effetti devastanti.

Un differente legame tra rischio di incendio, composizione della vegetazione, presenza di manufatti umani e possibili effetti di malfunzionamenti a cascata va ricercato nei modelli matematici con cui questi fenomeni vengono studiati. Questi diversi ambiti di studio, apparentemente molto distanti, condividono a livello scientifico lo stesso fondamento matematico. I fenomeni menzionati, infatti, possono essere visti come il risultato dell'evoluzione di *sistemi complessi*, caratterizzati da elementi distinti fortemente integrati. I comportamenti dei sistemi complessi non possono, tuttavia, essere caratterizzati guardando ai singoli elementi, ma devono essere intesi come l'insieme di tutte le strutture fisiche, gli individui e l'organizzazione che lavorano congiuntamente, come il sistema finanziario internazionale, come Internet, come i sistemi climatici interagiscono per formare uragani, ci sono forti connessioni non lineari tra i suoi componenti, e tra questi componenti e la società nel suo complesso.

In questo capitolo cercheremo di comprendere le relazioni tra previsione di rischio e valutazione di impatto legato ad incendi boschivi, mettendo in evidenza alcune proprietà matematiche chiave dei guasti a cascata in un qualsiasi sistema complesso. Ci concentreremo specialmente sul problema matematico di misurare il rischio di incendio boschivo e discuteremo alcune tecniche per valutare l'impatto sulle infrastrutture critiche.

### **Sistemi complessi e leggi potenza**

Morgan e Henrion definiscono il rischio come la *possibilità di una lesione o una perdita*. Volendo caratterizzare da un punto di vista matematico il rischio legato all'accadimento di un evento negativo, si può associare a tale evento  $X$  un costo  $c(X)$  ed una probabilità di accadimento  $Pr(X)$ , il rischio, allora, è dato dalla relazione

$$rX = cXPrX$$

Quando si considera la possibilità che diversi eventi accadano contemporaneamente, allora bisogna sommare i rischi dei singoli eventi

$$rX = \sum cXiPr(Xi)$$

Quando la grandezza di un evento viene definita in uno spazio continuo, la funzione di probabilità non può più descrivere il problema  $Pr(X)$ , ma va sostituita con la funzione densità di probabilità e al posto della sommatoria va messo l'integrale:

$$rX = c(x)p(x)dx$$

Se la densità di probabilità  $p(x)$  e la funzione costo  $c(x)$  sono note, l'equazione ci dice come valutare il rischio.

La densità di probabilità ci dice il tasso con il quale la probabilità si accumula al crescere di  $x$ . La curva a campana di Gauss è forse densità di probabilità più conosciuta, tuttavia in molti casi viene utilizzata la distribuzione di Poisson (nei sistemi di produzione industriale è utilizzata per descrivere il rischio associato alle perdite dovute agli scarti di produzione). Tale distribuzione, infatti, tende a pesare maggiormente il rischio di produrre un numero medio di pezzi da scartare, guidando le politiche di riduzione del rischio alla prevenzione di perdite ordinarie, ma quotidiane invece di perdite ingenti ma sporadiche.

A differenza di quanto detto, nei sistemi complessi, la distribuzione che viene utilizzata per descrivere il rischio associato all'avvenimento di un evento è la cosiddetta *legge di potenza*, la cui equazione è la seguente:

$$px = kx - \alpha$$

Le leggi di potenza hanno delle proprietà strane, specialmente se messe in relazione al rischio: quando le leggi di potenza intervengono nella distribuzione del rischio, diventa straordinariamente importante fare molta attenzione agli eventi improbabili che possono avere enormi conseguenze, cioè gli eventi catastrofici.

Mentre la distribuzione di Poisson ci dà una buona stima delle possibilità del verificarsi di eventi fino a che gli eventi individuali rimangono statisticamente indipendenti (ossia, non c'è una relazione sistematica tra i essi), la legge di potenza cattura la relazione tra gli eventi e la possibilità di generare una catena di eventi.

Per questo motivi alcuni gruppi di ricerca hanno visto nella legge di potenza un buon modello per diversi sistemi complessi. Sebbene tale modellazione sia ancora un argomento di dibattito tra gli studiosi, è indubbio che essa rappresenti un buon punto di partenza per lo studio di sistemi fortemente interconnessi, quali sono le infrastrutture critiche interdipendenti.

### **Legge di potenza e incendi boschivi**

Le motivazioni addotte dagli studiosi a supporto dell'utilizzo di una legge di potenza per descrivere il verificarsi di eventi catastrofici nei sistemi complessi sono fondamentalmente due: la prima è legata alla causa comune che scatena l'evento catastrofico, l'altra è legata al formarsi di un effetto cascata che scatena l'insorgere di eventi catastrofici.

In letteratura due differenti modelli per lo sviluppo degli incendi boschivi sono stati presentati. L'uno, Forest Fire Model di Donald L. Turcotte et al. (2002) e il Site-Percolation model di Stauffer, D. & Aharony, A. (1992).

Il Forest Fire Model è un modello spaziale che spiega la propagazione degli incendi. Le aree di studio sono segmentate in una griglia quadrata bidimensionale. Ogni cella della griglia è detto

sito ed ha una certa area  $G$ . Ad ogni istante di tempo, viene fatto cadere un albero appartenente ad una determinata famiglia all'interno di un sito scelto in maniera casuale: se il sito è libero, allora l'albero viene piantato. Ad una certa frequenza  $f_s = 1/nd$  viene acceso un fiammifero e fatto cadere all'interno di un sito. Il numero  $nd$  indica i tentativi di piantare un albero che vengono fatti prima di appiccicare il fuoco: se  $n_s = 100$ , il fuoco è appiccato dopo 99 tentativi di piantare un albero. Se il fiammifero cade su una cella vuota, il fuoco non si propaga e si spegne. Se il fiammifero cade su un albero, quello brucia e l'incendio si propaga alle celle adiacenti secondo una logica 4-adjacency (cioè non si propaga sulle celle adiacenti sulle diagonali). Specificando la grandezza  $G$  della cella quadrata, la frequenza  $F_f$  e l'intervallo di tempo di simulazione  $N_s$  considerato, è possibile determinare il numero di fuochi  $N_f$  aventi area  $A_f$ . Quest'ultima è calcolata come il numero di alberi (celle) che vengono lambiti dall'incendio. Si può dimostrare che la distribuzione del numero di incendi aventi area  $A_f$  in un determinato intervallo di tempo di osservazione segue una legge di potenza

$$N_f N_s = A_f^{-\alpha}$$

dove  $\alpha$  è un esponente che assume valore compreso tra 1.0 e 1.2. All'aumentare di  $f_s$ , la distribuzione comincia a variare sensibilmente dalla legge di potenza a causa di effetti dovuti alla limitatezza della griglia.

Il Forest Fire Model è basato sui risultati degli studi dei dati relativi ad incendi avvenuti negli Stati Uniti ed in Australia effettuati da Malamud et al(1999). Secondo tali studi, infatti è possibile ritrovare una legge di potenza nella probabilità che lega la frequenza degli incendi all'ampiezza delle aree da essi colpite, sebbene le cause e le condizioni al contorno degli incendi studiati siano diverse e complesse. In altre parole, sebbene il tipo di innesco, la propagazione, la presenza di combustibile, le condizioni meteorologiche cambino nei vari incendi considerati, l'applicazione della legge di potenza rimane valida in tutti i casi.

Nel Site Percolation Model, invece, si mette in evidenza il legame tra predisposizione del territorio e probabilità di innesco di incendi che distruggano una certa area, ritrovando anche qui un legame del tipo legge di potenza.

Anche secondo questo modello l'area di interesse viene divisa in celle. La crescita di vegetazione viene simulata con il riempimento di queste celle. Ad ogni istante di simulazione alcuni semi vengono rilasciati sull'area di osservazione. Se questi cadono su una cella vuota, danno luogo ad alberi adulti, alti e verdi. Inizialmente ci saranno molti alberi isolati, al crescere del tempo, tuttavia, la griglia rappresentante l'area di osservazione si riempirà di alberi. Questi potranno formare cluster spaziali più o meno estesi. I cluster sono rappresentati da aree ricoperte da vegetazione. Se un incendio viene innescato, gli alberi appartenenti ad un cluster verranno bruciati, dal momento che il fuoco si espande rapidamente da un albero all'altro. Alberi appartenenti a cluster diversi non vengono interessati dal fuoco in quanto quest'ultimo non può oltrepassare lo spazio che separa i cluster.

Se gli alberi ricoprono una vasta area in modo sparso, allora un incendio brucerà solo un numero limitato di piante e si spegnerà, lasciando intatta la foresta. Questo comportamento è dato dal fatto che i cluster sono composti da un numero limitato di alberi e molto lontani spazialmente gli uni dagli altri.

Al contrario, se la vegetazione è molto densa, molte piante saranno collocate su una superficie limitata, quindi gli incendi hanno una maggiore probabilità di propagarsi all'intera foresta. Una vegetazione densa, infatti, tende a formare cluster molto grandi, in grado di attraversare l'area osservata da una parte all'altra.

Quando un cluster attraversa una foresta da una parte all'altra, si raggiunge la cosiddetta percolazione. In altre parole avviene lo stesso fenomeno che accade nella preparazione del caffè quando l'acqua è in grado di trovare un percorso connesso da una parte all'altra dello strato di caffè in polvere. In questo caso l'acqua è rappresentata dal fuoco e la polvere di caffè è la foresta. Quando viene raggiunta la percolazione, molti cluster piccoli vengono uniti per formare cluster più grandi: il numero di cluster aventi una determinata area segue pertanto l'andamento della legge di potenza.

Il Site Percolation Model mette in luce molto bene una proprietà comune a molti sistemi complessi, ossia la propagazione non lineare per tutto il sistema di una perturbazione locale. Esso pone l'accento sulla densità di vegetazione piuttosto che sull'innescò dell'incendio. Al contrario il Forest Fire Model, si focalizza sulla probabilità che in un determinato intervallo di tempo si possa avere un innescò di incendio. Secondo questo modello sembrerebbe che un fiammifero lanciato in una foresta arida possa incendiare gli alberi vicini e alla fine iniziare un enorme incendio della foresta e che il fiammifero sia il responsabile dell'incendio. Il Forest Fire Model trascurava però il fatto che la foresta era già pronta ad incendiarsi per una qualunque scintilla iniziale. Questa è una caratteristica comune a molti fenomeni delle reti, ossia che la topologia delle connessioni è il fattore dominante che ne guida il comportamento, come osservato da Watts e Dodd(2007)

### **Valutazione di impatto nelle infrastrutture critiche**

Gli effetti a cascata giocano un ruolo fondamentale nei malfunzionamenti delle infrastrutture critiche causati da attacchi o eventi naturali come un incendio. Nell'analisi del rischio e dell'impatto che un incendio può avere, quindi, bisogna tener conto anche dei possibili effetti sulle infrastrutture al fine di predisporre al meglio piani di emergenza. Molto spesso, infatti, i malfunzionamenti a catena delle infrastrutture, limitano fortemente la capacità di intervento dei soccorritori e d'altro canto tali malfunzionamenti (conseguenza diretti dell'incendio o indotti per fronteggiare in maggior sicurezza gli stessi) possono provocare danni e conseguenze alle popolazioni anche peggiori rispetto alle dirette conseguenze dell'incendio. Per analizzare compiutamente tale rischio bisogna studiare a fondo i legami tra le varie infrastrutture. In letteratura, questi legami sono classificati come legami di dipendenza e di interdipendenza. Come osservato da Rinaldi et al. (2001), i legami di dipendenza si hanno

quando si ha un legame unidirezionale tra due infrastrutture: lo stato di una è influenzato da quella dell'altra, ma non vale il viceversa. I legami di interdipendenza si manifestano quando esiste una relazione bidirezionale tra le due infrastrutture ed il funzionamento di ognuna è correlato a quello dell'altra. In altre parole, vi è interdipendenza quando le infrastrutture sono dipendenti le une dalle altre.

Rinaldi identifica quattro tipologie diverse di interdipendenze:

- *interdipendenza fisica*
- *interdipendenza cyber*
- *interdipendenza geografica*
- *interdipendenza logica.*

L'interdipendenza fisica si ha quando, considerando due infrastrutture, lo stato di una dipende materialmente dallo stato dell'altra. Il sistema di trasporto di carburante su rotaia dipende da una centrale elettrica. La produzione di energia da parte della centrale dipende dall'approvvigionamento di carburante.

L'interdipendenza cyber si determina quando lo stato di una infrastruttura dipende fortemente dalle informazioni trasmesse dall'infrastruttura di comunicazione. Le interdipendenze cyber sono relativamente nuove e rappresentano il risultato del processo di automatizzazione ed informatizzazione delle infrastrutture realizzato nell'ultimo ventennio. L'affidabilità operativa delle moderne infrastrutture dipende molto dai sistemi di controllo automatici che hanno bisogno di informazioni e infrastrutture per il trasporto delle informazioni.

L'interdipendenza geografica si manifesta quando un evento locale può avere effetti in ogni infrastruttura spazialmente limitrofa. Un'interdipendenza geografica occorre quando elementi di più infrastrutture sono spazialmente vicini.

Tutti i legami di interdipendenza che non ricadono nelle classi precedentemente illustrate prendono il nome di interdipendenze logiche. Questi legami possono essere usati per descrivere compiutamente le decisioni degli operatori umani.

In Setola (2010) è suggerita l'opportunità di considerare una ulteriore tipologia di interdipendenza:

- *interdipendenza sociologica*

Questa tipologia di interdipendenza si realizza a causa del comportamento (irrazionale) degli utenti ed operatori che inducono sovra-utilizzo delle infrastrutture critiche in relazione al verificarsi di un determinato evento, come l'eccessivo ricorso alle reti di comunicazione fino alla loro paralisi ovvero la presenza di "curiosi" che intralciano e/o rallentano gli interventi dei soccorritori. La peculiarità di questa tipologia di interdipendenze è che essa induce malfunzionamenti in sistemi che da un punto di vista "operativo" sarebbero stati colpiti dalla causa primaria.

Nel caso degli incendi boschivi, le interdipendenze da tenere in considerazione sono, in primo luogo, quelle di tipo geografico: la presenza di un incendio in un sito limitrofo ad una centrale elettrica può provocare black out ed innescare malfunzionamenti sulle altre infrastrutture. Se una linea di trasmissione elettrica passa sopra un'area boschiva interessata da un incendio il riscaldamento e l'espansione del metallo conduttore potrebbe causare un cedimento. Se la vegetazione sottostante è troppo vicina, la corrente elettrica della linea innesca un arco con l'albero causando l'interruzione della linea. Quando questo succede, lo sforzo sopportato dal componente originario si redistribuisce quasi istantaneamente sul resto della rete. Questa redistribuzione può causare il cedimento di altri componenti. Questo processo si ripete rapidamente e produce grandi black-out, come occorso negli USA nel 2003.

Nel già citato incendio del 2012 presso la centrale idroelettrica di Falsomiele, alcune aree di Palermo hanno rischiato la sospensione dell'erogazione di energia elettrica in giornate estive in cui il consumo di tale bene è molto alto per via dell'utilizzo dei condizionatori.

Anche il sistema di trasporto si può trovare a disagio a causa della presenza di aree boschive limitrofe a strade e ferrovie. In varie regioni d'Italia, i piani di rischio incendi già considerano questi fattori.

In ogni caso con l'aumentare dell'importanza e della rilevanza delle infrastrutture critiche tali problematiche andranno ad accrescersi. Infatti da un lato sarà sempre più importante considerare nei piani di intervento le conseguenze che le diverse opzioni hanno per quel che riguarda la continuità operativa di questi sistemi e, di conseguenza, dei potenziali effetti diretti ed indiretti sulla popolazione.

Altro aspetto da considerare è la penetrazione che queste infrastrutture hanno nelle aree boschive in particolar luogo per le infrastrutture energetiche sia quale fonte di possibili inneschi che come elemento da gestire durante le fasi di contrasto alla minaccia di incendio boschivo. In questo contesto il proliferare di impianti per energia rinnovabile, soprattutto eoliche, in aree boschive impervie rappresenta un fenomeno nuovo che va considerato con attenzione.

Non è possibile trascurare l'importanza delle reti di comunicazione, ed in particolar modo quelle wireless, che potrebbero soffrire come accaduto nell'incendio del Gargano del 2007 di ripercussioni a causa dei danni provocati dagli incendi, in modo diretto ed indiretto, sulle BST (Base Station). Per altro, come occorso anche al Gargano, il comportamento "irrazionale" degli utenti (interdipendenza sociologica), comporta picchi di carico sulla rete con conseguenti amplificazione dei malfunzionamenti.

### **Buone pratiche**

Nonostante il rischio dovuto alla dipendenza geografica tra incendi boschivi e infrastrutture critiche, molto spesso questi aspetto viene trascurato nella valutazione degli effetti di un incendio. Nella prevenzione e nella lotta agli incendi boschivi, l'attenzione è posta principalmente sulla salvaguardia del patrimonio e della biodiversità degli ecosistemi.

Conseguentemente, nei piani anti incendi boschivi delle Regioni, il legame tra incendi e infrastrutture critiche e l'impatto degli uni sulle altre è trattato solo marginalmente.

Tipicamente l'interazione con le infrastrutture critiche viene menzionata nelle cause accidentali di innesco. La frenata di treni in tratti in cui vi è la necessità di prolungate frenate innalza il rischio di inneschi che colpiscono la vegetazione ai bordi delle rotaie. Le linee elettriche, soprattutto quelle ad alta tensione, possono costituire una causa di innesco in concomitanza con al caduta di cavi o cortocircuiti sui terminali di cabina.

La dipendenza tra incendio e infrastrutture critica è spesso menzionata nella lotta agli incendi di interfaccia, ossia quella categoria di incendi che interessa le aree di interconnessione tra la struttura antropizzata e le aree naturali. In questa tipologia di incendio, infatti, è plausibile che il fuoco si trovi a diretto contatto con un'infrastruttura critica che segna il confine con la zona antropizzata e possa danneggiarla.

Alcuni approcci per la prevenzione e la lotta agli incendi boschivi, tuttavia, enfatizzando il legame di interdipendenza geografica tra incendi boschivi e infrastrutture critiche, prevedono l'utilizzo di GIS (Geographic Information Systems) e dati provenienti da satellite. Questi sistemi permettono di identificare dei punti di interesse per monitorarli. A livello di prevenzione, ad esempio è possibile segnalare le cabine di trasformazione del sistema di trasporto dell'energia per programmare gli interventi di manutenzione alla vegetazione sottostante. Ancora nella fase di lotta attiva, i dati provenienti da questi sistemi possono fornire indicazioni sulla azioni di soccorso da intraprendere, in base alla localizzazione del fuoco, la composizione del combustibile vegetale presente nella zona, l'impatto del malfunzionamento delle infrastrutture sulle attività antropiche.

In Lombardia, un lavoro più approfondito è stato realizzato con l'elaborazione del *Piano regionale per la protezione delle infrastrutture critiche (PIC) e repertorio regionale dei rischi*, che ha previsto lo studio sistematico dell'impatto di diversi eventi.

Lo scopo generale del progetto è stata la definizione, l'individuazione e il censimento delle infrastrutture critiche del territorio regionale al fine di contribuire all'elaborazione di un modello di analisi di vulnerabilità e di rischio sociale a carico delle Infrastrutture Critiche regionali.

Per lo studio dei rischi, la ricerca ha previsto l'analisi di eventi storici incidentali rilevanti, a carico delle infrastrutture critiche regionali e la collezione di tali dati in un *case-histories*. L'obiettivo di quest'analisi è stato l'individuazione delle migliori pratiche a livello internazionale, volte alla protezione delle infrastrutture critiche. In primo luogo si è proceduto alla mappatura e alla caratterizzazione delle infrastrutture considerate critiche all'interno del territorio della Regione Lombardia, in ambito trasporti ed energia, ai fini dell'individuazione delle interdipendenze tra le varie Infrastrutture Critiche e delineare scenari incidentali di riferimento, per una gestione coordinata delle emergenze.

Le infrastrutture critiche prese in esame nello studio sono, in analogia con il campo di applicazione della direttiva europea 144/08/EC, relative al campo dei trasporti e dell'energia.

- Settore trasporti:
  - Strade
  - Ferrovie
  - Guida vincolata
  - Aeroporti
  - Pipeline
- Energia:
  - Rete elettrica
  - Rete gas

Lo scopo della mappatura è quello di individuare, sul territorio regionale, le infrastrutture critiche procedendo ad una scomposizione che permetta di delinearne una schematizzazione funzionale. Il censimento delle informazioni è finalizzato alla verifica delle informazioni reperite e all'individuazione delle interferenze e interdipendenze fra i vari nodi, sia di una stessa infrastruttura, sia fra diverse tipologie di infrastrutture critiche. Per mettere in evidenza rischi particolari, sono stati elaborati scenari di riferimento basati sul *case histories* e sottoposti ai gestori delle infrastrutture. Questo studio ha permesso di studiare le modalità di accadimento di eventi su ogni infrastruttura critica in grado di produrre effetti rilevanti a livello regionale (in termini, ad esempio, di disservizio) fornendo una stima una stima quali-quantitativa dei danni attesi. Inoltre ha permesso di verificare le le modalità con cui uno scenario emergenziale generatosi in una infrastruttura può propagarsi all'interno della stessa infrastruttura (interdipendenze interne) o propagarsi ad altre infrastrutture (interdipendenze esterne).

Sulla base di tali informazioni, è stato, quindi, possibile tracciare gli scenari di riferimento, strumento valutato utile al fine di aumentare la consapevolezza su tale tematica.

Nella figura seguente sono evidenziate le aree ad elevato rischio di incendio boschivo (giallo) e la loro insistenza sulle principali arterie di trasporto, sia a livello di autostrade che a livello di strade statali.

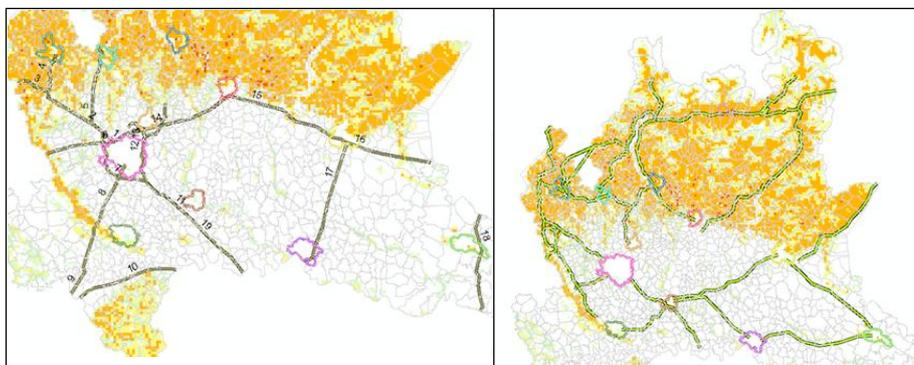


Figura 1 – Autostrade (sinistra) e Strade Statali (destra) e rischio incendi boschivi (Fonte NIER Ingegneria)

## Conclusioni

La società moderna si caratterizza per una complessità crescente legata alla pervasiva diffusione ed integrazione delle diverse infrastrutture tecnologiche nel territorio ed all'interno del territorio. Ogni strategia di prevenzione, contenimento e gestione di eventi avversi deve porre attenzione a tale crescente ruolo al fine di adottare quelle strategie atte a minimizzare gli effetti negativi tanto sul breve che sul lungo periodo. Nell'ambito degli incendi boschivi la presenza di tali infrastrutture è tenuta in conto soprattutto per quel che riguarda la gestione delle aree di interfaccia, per quel che riguarda la possibilità che esse siano causa di innesco e per le implicazioni date dalla loro presenza durante le fasi di contenimento dell'incendio. Si ravvisa però la necessità di un approccio maggiormente sistemico che tenga conto delle diverse implicazioni tanto in fase di progettazione e gestione delle infrastrutture quanto sul versante del controllo del territorio. Ciò implica, come da più parti sollecitato, un cambio di paradigma che sposti l'attenzione dalle cause alle conseguenze abbracciando la filosofia del *All-Hazard*. Nello specifico ciò impone che i diversi piani di emergenza e/o gestione del territori dovrebbero essere raccordati in una visione unitaria che ponga la prevenzione (e successivamente la protezione) delle popolazioni e del territorio quale elemento basilare in funzione del quale andare ad analizzare le cause generanti le diverse calamità/eventi. Questo cambio di paradigma, che appare l'unico in grado di gestire la crescente moltitudine e complessità dei fenomeni che interessano il nostro territorio, ha il pregio di favorire una visione olistica della prevenzione e della gestione delle emergenze e, come tale, di favorire una più efficiente ed efficace gestione delle stesse e, soprattutto in fase di prevenzione, consentire una maggiore efficienza ed efficacia delle diverse iniziative mettendo a fattor comune soluzioni che, altrimenti, potrebbero risultare duplicative, inefficaci se non addirittura conflittuali e contraddittorie. Per gestire efficacemente scenari complessi è necessaria una visione sistemica del fenomeno, del territorio e delle infrastrutture che su di esso insistono che può essere ottenuta unicamente mediante una condivisione delle informazioni in grado di dare quella necessaria visione di insieme.

## Bibliografia

- M. Morgan and M. Henrion, *Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- Bak, P., Chen, K. and Tang, C. (1990), "A forest-fire model and some thoughts on turbulence." *Phys. Lett. A* 147, 297–300.
- Chen, K., Bak, P. and Jensen, M. H. (1990), "A deterministic critical forest-fire model." *Phys. Lett. A* 149, 207–210.
- Donald L. Turcotte, Bruce D. Malamud, Fausto Guzzetti, and Paola Reichenbach *Self-organization, the cascade model, and natural hazards*, *PNAS* 2002 99 (suppl 1) 2530-2537
- Stauffer, D. & Aharony, A. (1992) *Introduction to Percolation Theory* (Taylor

- & Francis, London), 2nd Ed.
- Malamud, B. D. & Turcotte, D. L. (1999) *Natural Hazards* 20, 93–116.
- Watts, D. and P. S. Dodd, “Influentials, networks, and public opinion formation,” *Journal of Consumer Research*, vol. 34, Dec. 2007.
- Rinaldi, S.M, J. P. Peerenboom and T. K. Kelly, “Identifying, understanding and analyzing critical infrastructure dependencies,” *IEEE Control Systems Magazine*, 11-25, December 2001.
- R. Setola, “How to Measure the Degree of Interdependencies among Critical Infrastructures”, *Int. J. of System of Systems Engineering, (IJSSE)*, vol. 2, No. 1, pp. 38 -59, 2010.