

Tecnologie geospaziali per l'ottimizzazione della distribuzione di risorse (squadre a terra e Dos) per la lotta agli incendi boschivi nella rete delle sedi del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco

di Michele Fasolo

Negli ultimi decenni la letteratura sui sistemi di soccorso ha registrato un grandissimo numero di contributi che hanno utilizzato, pur declinandola secondo prospettive differenti, la Teoria delle code per approntare procedure e modelli utili a comprenderne il comportamento, misurare e ottimizzare le prestazioni in termini di efficienza del servizio reso nel territorio da queste particolari strutture sistemiche così importanti sotto il profilo sociale. Si tratta di strutture molto complesse a causa dei fattori prevedibili e imprevedibili di variabilità che vi intervengono sia a livello di numero di richieste che di tempo necessario a soddisfarle.

Il problema fondamentale che si pone nell'analisi e nella modellazione teorica è proprio il loro essere caratterizzate dall'irrompere casuale nel loro sistema di quegli eventi che determinano la loro attivazione, con la possibilità di formazione di una coda (o fila) in attesa, quando il numero di eventi diviene troppo elevato o troppo concentrato nell'unità di tempo in rapporto alle risorse operative disponibili per lo svolgimento del servizio richiesto. L'obiettivo dello studio di questi sistemi è dunque finalizzato all'analisi dei regimi di servizio per dimensionare correttamente le risorse al fine di far fronte alle richieste nella misura più efficace pos-

sibile, nel rispetto dei vincoli complessivi (quali p.e. il numero complessivo di risorse impiegabili o il livello minimo accettabile della qualità di risposta che il sistema deve poter garantire). Sorge dunque la necessità di calcolare su base probabilistica una distribuzione ottima delle risorse tra i vari nodi della rete in modo che queste non risultino carenti laddove sarebbero previsionalmente più necessarie e, al contrario, poi effettivamente sottoutilizzate laddove alla luce delle probabili esigenze si presentino sovrabbondanti. Una distribuzione ottima basata in ogni caso su criteri oggettivi, razionali e scientifici, e supportata da consolidati modelli matematici.



Fig. 1 - Territorio del comune di Patti (ME) percorso dal fuoco nell'incendio del 30.06.2017 (rielaborazione in falsi colori immagine Sentinel 2A del 03.08.2017 con combinazione di bande nell'infrarosso. Aree percorse dal fuoco in verde scuro).



Fig. 2,3 - Patti (ME) incendio boschivo del 30.06.2017.

Una possibile soluzione è quella di costruire un modello matematico (analitico) di ottimizzazione, di tipo stocastico, attraverso variabili e relazioni logico-matematiche che siano corrispondenti alle relazioni del modo reale, in grado di descrivere in modo semplificato ma soddisfacente il funzionamento e i fenomeni che lo influenzano e supportare le eventuali decisioni a riguardo.

La teoria delle code con l'applicazione del tipo di modello di file d'attesa (c.d. a code) risponde con risultati convincenti a tali esigenze. Consente infatti di misurare le prestazioni in termini di efficienza del servizio reso nel territorio di competenza da ciascun nodo della rete.

Tra i metodi possibili si propone qui e si valuta un procedimento dedicato di ottimizzazione fondato sulla "Teoria delle Code", formulato come problema di Programmazione Lineare, denominato dal suo autore Fabrizio Di Liberto, "Metodo delle Code".

Il metodo è stato applicato nel contesto della lotta attiva agli incendi boschivi per affrontare il problema della dotazione operativa ottimale delle sedi del Corpo nazionale dei vigili del fuoco (CNVVF) esistenti sul territorio italiano, in termini di squadre antincendio boschivo (AIB) e di direttori delle operazioni di spegnimento (DOS), in base alle necessità di copertura operativa conseguenti alla analisi di rischio di incendio nel territorio e delle capacità di servizio delle sedi, entrambe elaborate utilizzando le statistiche del fenomeno negli ultimi anni.

Gli incendi boschivi in Italia

L'incendio boschivo è un fenomeno globale, sempre presente, comune a molti Paesi europei e in particolare a quelli del bacino del Mediterraneo dove tradi-

zionalmente è stato utilizzato dall'uomo per sfruttare l'ambiente naturale modificandolo a proprio vantaggio.

Anche il territorio italiano è afflitto ogni anno da incendi devastanti che interessano decine di migliaia di ettari di zone boscate e in generale vegetate, costituendo una tra le più impattive criticità ambientali con cui devono confrontarsi i cittadini e le istituzioni.

Un'emergenza che va affrontata su più piani, da quello sociale ed economico, a quello della repressione criminale per i tantissimi eventi dolosi e le attività delle ecomafie, con il concorso sinergico di più attori istituzionali con il rafforzamento delle attività di programmazione e di prevenzione.

Quadro normativo e nuove competenze del CNVVF

In Italia la normativa in materia di incendi boschivi è risultata per molti anni insufficiente e inadeguata alla gravità del fenomeno sino all'approvazione della legge 21 novembre 2000, n. 353 (Legge-quadro sugli incendi boschivi), che ha apportato importantissimi elementi di innovazione e di contrasto all'aberrante circolo vizioso degli interessi economici che sorgono intorno al fuoco tra cui quelli, affatto secondari, sintetizzati dall'ossimoro "bruciare per spegnere". Tra gli aspetti più rilevanti stabiliti dalla legge quadro c'è il completo riordino delle competenze Stato-Regioni

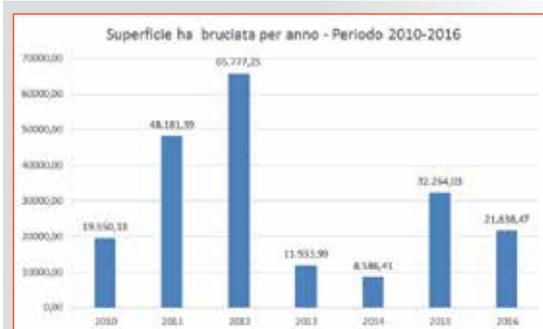


Fig. 4 - Superficie ha bruciata per anno; periodo 2010-2016 (Fonte dati Corpo Forestale dello Stato le Regioni italiane a statuto ordinario).

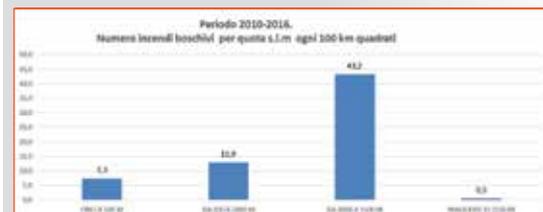


Fig. 5 - Numero incendi boschivi per quota sul s.l.m ogni 100 km² (Fonte dati Corpo Forestale dello Stato le Regioni italiane a statuto ordinario).

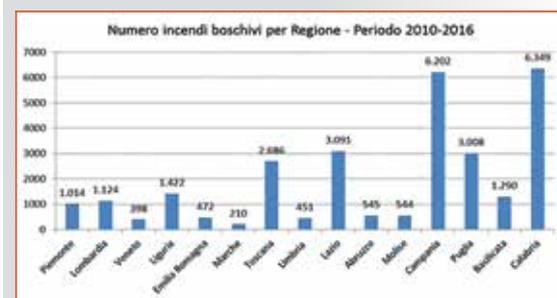


Fig. 6 - Numero incendi boschivi per Regione; periodo 2010-2016 (Fonte dati Corpo Forestale dello Stato le Regioni italiane a statuto ordinario).

con trasferimento a queste ultime di tutte le competenze in materia di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi boschivi, lasciando allo Stato il concorso in particolare allo spegnimento degli incendi con il supporto della flotta aerea antincendio di Stato. Ciascuna

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre	Totale regionale
ABRUZZO	37	31	33	34	9	22	119	172	34	11	2	8	549
BASILICATA	8	21	35	38	20	82	275	305	209	26	8	7	1.290
CALABRIA	35	25	344	304	108	324	3.373	2.972	3.995	145	18	9	6.349
CAMPANIA	309	332	327	348	68	137	388	3.217	1.214	138	69	71	6.202
EMILIA ROMAGNA	34	3	71	45	14	11	78	146	17	17	1	3	472
LAZIO	37	37	324	318	58	83	394	1.104	318	183	37	26	3.093
LIIGURIA	30	310	319	87	30	34	168	313	216	69	26	32	1.432
LOMBARDIA	333	333	385	343	30	12	52	64	28	11	33	88	1.124
MARCHE	9	3	11	11	6	8	42	62	39	11	2	7	210
MOLISE	4	11	37	45	7	9	110	118	107	7	2	7	544
PIEMONTE	387	82	341	315	24	3	40	84	140	37	73	139	1.014
PUGLIA	3	8	20	27	39	333	391	931	312	30	5	3	3.008
TOSCANA	25	45	311	177	95	113	385	814	307	111	24	71	2.972
UMBRIA	6	33	39	26	7	10	37	141	74	7	3	1	451
VENETO	30	27	76	43	15	15	71	76	8	5	8	13	398
Totale Mensile	704	678	2.131	1.401	281	1.334	2.839	10.490	4.202	824	322	436	26.604

Tab. 1 - Distribuzione mensile numero incendi boschivi a livello regionale; periodo 2010-2016.

Regione affronta il contrasto agli incendi boschivi secondo un'organizzazione peculiare e sulla base di norme regionali che prevedono anche la possibilità di stipulare specifiche convenzioni con enti pubblici ma anche privati come le associazioni di volontariato AIB. Rispetto a questo impianto normativo che individua nelle Regioni i soggetti responsabili dello spegnimento a terra, lasciando allo Stato il concorso con la flotta aerea di Stato, la revisione normativa apportata dal decreto legislativo 19 agosto 2016 n. 177 con l'assorbimento del Corpo Forestale dello Stato nell'Arma dei carabinieri, e il contestuale trasferimento al Corpo Nazionale dei Vigili del fuoco (CNVVF) delle competenze CFS in tema di lotta attiva agli incendi boschivi ha comportato il mutamento dell'interlocutore statale, oggi unicamente il CNVVF, per la estinzione degli incendi, la direzione delle operazioni di spegnimento, il coordinamento

delle forze regionali di volontariato, la collaborazione all'interno di ciascuna Sala operativa unificata permanente (SOUP). Il concorso del CNVVF al dispositivo di antincendio boschivo delle Regioni e degli Enti parco viene regolato attraverso accordi di programma che fanno riferimento alle principali norme in materia di antincendio boschivo.

Unitamente al d.lgs.177/2016 la revisione del d.lgs 139/2006 ha reso necessario per il CNVVF la predisposizione di un dispositivo coordinato di risposta in materia AIB con una revisione e un rafforzamento degli assetti organizzativi e funzionali con una distribuzione mirata del personale..

L'attuale dislocazione sul territorio delle strutture del CNVVF è infatti studiata per il soccorso tecnico urgente alle popolazioni, con una conseguente minore prossimità alle aree boschive che, solitamente, sono contraddistinte da un basso grado di urbanizzazione.

In conclusione il problema è quello di individuare, al fine di rafforzare le azioni di prevenzione e di spegnimento un nuovo assetto ottimale del dispositivo di lotta attiva AIB rafforzandolo in particolare nelle Regioni e nelle Province a maggior rischio in modo da consentire, con interventi più rapidi a elevata capacità operativa in territori impervi e con poche vie di penetrazione, l'estinzione degli incendi nelle fasi iniziali, contenendo al minimo i danni.

Di estrema importanza risulta in particolare il calcolo delle risorse aggiuntive da mettere in campo ovvero la stima delle esigenze da quantificare con le Regioni competenti e da definire negli Accordi Convenzionali da stipulare.

Questo calcolo è stato im-

posto in questo studio a partire dalle statistiche degli incendi verificatisi nel periodo 2010-2016 nei singoli ambiti di competenza territoriale delle sedi VVF in particolare a partire dagli indici di rischio e dalla capacità relativa del sistema di servizio delle sedi.

Il modello e la sua applicazione

Secondo la procedura adottata in questo studio, applicando il Metodo delle Code, la rete dei presidi di soccorso territoriali è modellizzata come un network di sistemi di servizio cui giungono in istanti aleatori richieste di intervento. La Teoria delle Code è in grado di descrivere processi stocastici (cd. "senza memoria" o "markoviani") di questo tipo di sistema di servizio a mezzo di equazioni differenziali ordinarie.

Per approntare il modello si sono innanzitutto definiti i territori di competenza di ciascuna sede territoriale di soccorso tecnico urgente VVF (100 Comandi + 358 distaccamenti permanenti + 1 distaccamento misto). Per farlo si è suddiviso (utilizzando la piattaforma ArcGis 10.5) il territorio italiano (dominio B=boundary) mediante il metodo dei poligoni di Thiessen, imperniati sulla posizione delle sedi territoriali VVF $\{m_j\}$, in k entità di discretizzazione $\{b_k\}$ (nodi).

Un altro possibile metodo di discretizzazione delle aree di competenza delle singole sedi di servizio, qui non utilizzato per ragioni di speditezza è quello di individuarle come porzioni di territorio accessibili dalla posizione di ciascuna sede stimate in funzione della rete stradale a parità di tempo rispetto a quella da ciascuna altra sede circostante e senza sovrapposizioni (superfici isocrone).



Fig. 7 - Suddivisione del territorio italiano mediante il metodo dei poligoni di Thiessen, imperniati sulla posizione delle 459 sedi territoriali VVF

Si è comunque riscontrato che ciascun poligono della discretizzazione secondo il metodo di Thiessen corrisponde a un'area di accessibilità isocrona media di 28-30 minuti.

A ciascuna sede territoriale del CNVVF $\{m_j\}$ è stata quindi assegnata una quantità $\{U_j\}$ di unità di soccorso (partenze o squadre) (due per i comandi e le sedi classificate SD5, una per tutte le altre) pronte all'impiego in caso di necessità conseguenti a incendi boschivi localizzati nell'intorno definito dal poligono corrispondente a ciascuna sede $\{R_j\}$ (raggio operativo).

Per la ricerca si sono utilizzati i dati relativi ai 28.806 incendi censiti dal Corpo Forestale dello Stato nel territorio delle 15 Regioni a statuto ordinario negli anni dal 2010 al 2016 (archivio AIB-FN Foglio Notizie AntIncendi Boschivi). L'archivio AIB-FN è stato realizzato per vari decenni raccogliendo i dati che, il personale Forestale intervenuto sull'incendio e responsabile delle operazioni di spegnimento compilava dettagliatamente. Si tratta di una fonte di dati ricchissima di voci e quindi rilevante con informazioni omogenee e facilmente trattabili per l'elaborazione statistica.

I dati sono stati riportati al contesto dell'attuale dispositivo di soccorso VVF a seguito delle nuove funzioni assegnate dal d.lgs.177/2016 e dalla revisione del d.lgs 139/2006. Per ciascuno dei 459 nodi-poligoni del dominio di discretizzazione i dati sono stati quindi geocalizzati su piattaforma Gis, previa loro normalizzazione ed eliminazione di quelli non trattabili perché affetti da varie incongruenze,

Si sono quindi analizzate al fine di calcolare le diverse variabili aleatorie del processo le occorrenze degli incendi boschivi che



Fig. 8 - Particolare della discretizzazione di una porzione del territorio dell'Italia centrale attraverso il metodo dei poligoni di Thiessen imperniati sulla posizione delle sedi operative VVF (triangoli rossi) (in rosso gli ambiti dei Comandi e in azzurro i limiti regionali)

si sono presentati mediamente nel periodo considerato 2010-2016 all'interno di ciascuna area di competenza (poligono) di ciascuna sede. Il carico medio di incendi per ciascuna sede corrisponde al carico di lavoro cui la sede è chiamata a farsi carico. Sempre avvalendosi della predetta banca dati, sono stati quindi definiti: il corrispondente tempo medio di risposta $\{T^{um}\}$, per ogni coppia $\{b_j; m_j\}$, i tempi medi necessari $\{T^{dst}_{jk}\}$ alle unità di soccorso per raggiungere nel periodo di riferimento (mese) le località dell'incendio da ciascuna sede m_j e quelli di ritorno dalle località alla sede di servizio maggiorati rispetto ai precedenti del 50%, dato il mancato uso della sirena in questi tragitti, entrambi questi ultimi due stimati in base alle caratteristiche di velocità ed autonomia dei mezzi di soccorso impiegati e delle caratteristiche di ciascun arco del grafo stradale utilizzato per la modellizzazione della rete stradale; il tempo medio necessario, alle unità di soccorso per espletare un intervento localizzato nel nodo $k-mo$ nel periodo di riferimento, $\{T^{emg}_k\}$, nonché il tempo medio necessario alle

unità di soccorso rientrate in base per ridisporsi in prontezza operativa $\{T^{cbk}\}$. Dalla somma di questi quattro tempi si è ricavato il valore del tempo medio totale di servizio m_{Tser} . Per la stima dei tempi necessari ai tragitti di andata e di ritorno delle unità di soccorso tra ciascuna sede operativa e le località di incendio boschivo e viceversa



Fig. 9 - Incendi boschivi in Italia 2010-2016 (Fonte dati Corpo Forestale dello Stato)

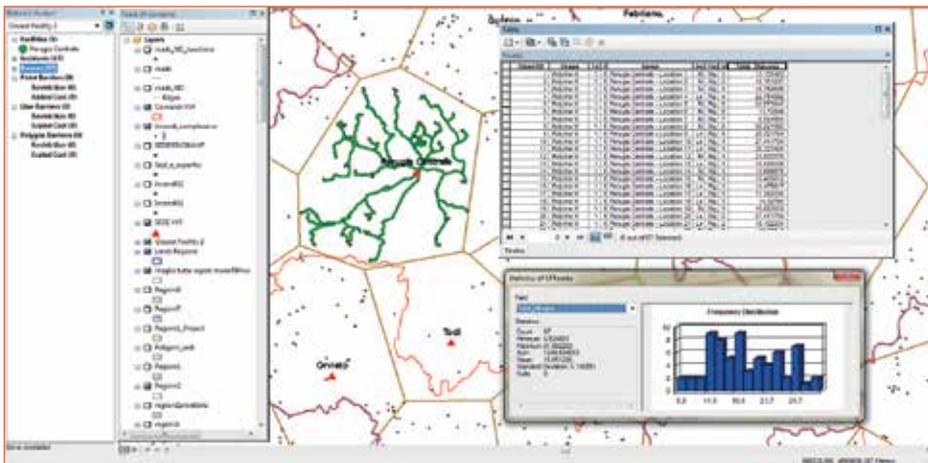


Fig. 10 - Procedura di stima del tempo medio dei tragitti tra la sede operativa VVF e ciascuna località ricadente nel poligono di competenza in cui si è verificato nel periodo 2010-2016 un incendio boschivo.

si è utilizzato il tool Network Analyst di Arcgis 10.5. applicato al grafo stradale della rete viaria nazionale, con riferimento ai nodi di collocazione dei presidi operativi del CNVVF. In particolare è stata utilizzata la funzione Closest facility per stimare i tempi medi dei tragitto tra la sede di servizio (facility) e ciascuno degli incendi boschivi (incidents) verificatisi nel periodo 2010-2016 e ricadenti nell'ambito di competenza. Si è resa necessaria a tale riguardo per lo studio una modellizzazione della rete stradale tramite il grafo OpenStreetMap (OSM). Con questi due strumenti si è effettuata la modellizzazione che ha adottato criteri di compromesso tra la precisione dei risultati e la minimizzazione dei costi, in termini di impiego di requisiti informativi, risorse hardware, tempo uomo e tem-

po macchina, necessari alla sua implementazione e pertanto si è ritenuto di non spingere verso un livello di dettaglio elevato la schematizzazione che pure non ha escluso alcun tipo degli archi della rete presente nella base di dati di OSM optando però per una valutazione prestazionale semplificata del deflusso imperniata sul tempo di percorrenza determinato dai due soli attributi concorrenti, lunghezza e velocità e rinunciando a forme funzionali delle funzioni di costo più sofisticate. Ogni arco della rete è stato quindi tipizzato in base alla classifica tecnico funzionale, ovvero in funzione del livello amministrativo e delle caratteristiche funzionali (velocità) con aggiornamento della relativa matrice. A ogni arco sono stati associati una serie di attributi tra cui il tempo di percorrenza (minutes). Per fare ciò le tabelle di attributi degli shape

files del grafo stradale sono state importate in un database di Microsoft Access e attraverso una macro si è associata la velocità massima consentita dal Codice della strada a ciascun corrispondente arco. Contestualmente si è suddivisa la lunghezza di ciascun arco per la velocità in minuti (tre cifre decimali). Successivamente le tabelle modificate sono state esportate in dbf e associate agli shape file. A partire dalla feature class lineare in formato shape che costituisce la rete è stato definito e costruito in ArcCatalog di ArcGis il network dataset e quindi attraverso la voce del menù di Network Analyst "Closest Facility" si sono calcolati individuandone i relativi percorsi (feature class lineare Route) la distanza e il tempo tra la sede VVF (facility) e ciascun incendio (incident) ricadente nel poligono di competenza. Gli incendi boschivi nel territorio sono stati caratterizzati come eventi aleatori, assumendo che:

1. si distribuiscono aleatoriamente nel giorno medio secondo una legge di Poisson di parametro λ pari alla densità media oraria locale di accadimento;
2. a ciascun incendio boschivo corrisponda una richiesta di primo soccorso che giunge al sistema con un ritardo aleatorio, comunque trascurabile ai fini dello studio;
3. La durata T_{ser} delle missioni di soccorso sia aleatoria e distribuita secondo una legge esponenziale di parametro μ , inversamente proporzionale al tempo medio di durata $m_{T_{ser}}$ delle missioni stesse.

ID	SHAPE	TYPE	NAME	REF	OVERLAY	BRIDGE	TUNNEL	MAXVELOCITY	MAXACC										
1713	Poligono	12049241	12049241	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1714	Poligono	12049242	12049242	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1715	Poligono	12049243	12049243	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1716	Poligono	12049244	12049244	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1717	Poligono	12049245	12049245	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1718	Poligono	12049246	12049246	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1719	Poligono	12049247	12049247	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1720	Poligono	12049248	12049248	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1721	Poligono	12049249	12049249	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1722	Poligono	12049250	12049250	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1723	Poligono	12049251	12049251	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1724	Poligono	12049252	12049252	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1725	Poligono	12049253	12049253	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1726	Poligono	12049254	12049254	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1727	Poligono	12049255	12049255	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1728	Poligono	12049256	12049256	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1729	Poligono	12049257	12049257	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1730	Poligono	12049258	12049258	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1731	Poligono	12049259	12049259	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1732	Poligono	12049260	12049260	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1733	Poligono	12049261	12049261	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1734	Poligono	12049262	12049262	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1735	Poligono	12049263	12049263	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1736	Poligono	12049264	12049264	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1737	Poligono	12049265	12049265	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1738	Poligono	12049266	12049266	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1739	Poligono	12049267	12049267	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1740	Poligono	12049268	12049268	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1741	Poligono	12049269	12049269	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1742	Poligono	12049270	12049270	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1743	Poligono	12049271	12049271	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1744	Poligono	12049272	12049272	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1745	Poligono	12049273	12049273	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1746	Poligono	12049274	12049274	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1747	Poligono	12049275	12049275	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1748	Poligono	12049276	12049276	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1749	Poligono	12049277	12049277	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1750	Poligono	12049278	12049278	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1751	Poligono	12049279	12049279	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1752	Poligono	12049280	12049280	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1753	Poligono	12049281	12049281	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1754	Poligono	12049282	12049282	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1755	Poligono	12049283	12049283	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1756	Poligono	12049284	12049284	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1757	Poligono	12049285	12049285	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1758	Poligono	12049286	12049286	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1759	Poligono	12049287	12049287	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1760	Poligono	12049288	12049288	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1761	Poligono	12049289	12049289	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1762	Poligono	12049290	12049290	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1763	Poligono	12049291	12049291	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1764	Poligono	12049292	12049292	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1765	Poligono	12049293	12049293	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000
1766	Poligono	12049294	12049294	Via Strada	0			0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000	0	220,0000

pertanto definito una successione temporale di eventi flusso $\{F_j\}$ che può essere schematizzato con buona approssimazione come un flusso aleatorio elementare definito dalla legge di Poisson con un certo intervallo temporale di riferimento $\{t_r\}$ ovvero indicando con $P_k(m, \lambda)$ la probabilità che si verifichino nel nodo k m richieste di intervento per incendio boschivo con media λ (ponendo $\lambda = l \cdot t_r$) si ha

$$(1) \quad \varphi_k(m, \lambda) = \frac{\lambda^m \cdot e^{-\lambda}}{m!}$$

Quindi tramite la suddetta formula di Poisson (1) ponendo $m=0$, è stato possibile calcolare la probabilità che nel nodo k -mo NON AVVENGA AL-CUN EVENTO:

$$\varphi_k(0, \lambda) = e^{-\lambda}$$

e da questa, passando all'evento contrario, è stato possibile calcolare la probabilità che nel nodo k -mo si verifichi ALMENO UN EVENTO:

$$P_k(\lambda) = 1 - \varphi_k(0, \lambda) = 1 - e^{-\lambda}$$

Quest'ultima relazione) esprime, al variare di λ , la propensione statistica al verificarsi di eventi-emergenze in un ambito territoriale (nodo) soggetto in media ad un numero λ di eventi/periodo. Il valore $P_k(\lambda)$ rappresenta dunque un "indice di pericolosità" per ogni nodo k del dominio di discretizzazione. L'indice di pericolosità è stato stimato in base alle serie storiche locali degli eventi ed è stato assunto per quantificare il carico di lavoro potenziale delle sedi territoriali di soccorso VVF nel raggio operativo (area) di competenza (corrispondente

al rispettivo poligono di Thiesen). Il valore dell'indice di pericolo può essere poi pesato e corretto a seconda delle esigenze di modellizzazione al fine di ottenere il corrispondente "indice di rischio territoriale" come prodotto della pericolosità per il danno atteso ($R=P \cdot D$). Nel presente studio l'indice di rischio è stato calcolato in particolare moltiplicando la pericolosità (percentuale di incendi verificatesi in area di competenza di ciascuna sede di servizio VVF sul totale nazionale) per il danno (superfici complessive percorse dal fuoco dal fuoco in km²). Per la classificazione delle sedi in base all'indice di rischio si è utilizzato il metodo Quantile.

Misura statistico-probabilistica di efficienza globale della rete CNVVF in relazione ai carichi di servizio valutati su scala locale. Risultati.

La risposta in termini operativi che la rete deve fornire al carico di lavoro potenziale, derivante dall'indice di rischio territoriale, tramite le risorse U_j distribuite nelle varie sedi VVF m_j , ovvero il livello di servizio, funzione del numero di richieste che giungono (carico di servizio), del tempo medio di espletamento del servizio richiesto (tempo di servizio) e del numero di unità di servizio (canali) che agiscono nel sistema, può essere limitata da alcuni vincoli dati di varia natura ma determinano sempre la difficoltà se non l'impossibilità di corrispondere con la voluta efficienza ed efficacia alla domanda di prestazione richiesta. Il rapporto tra le richieste che giungono e quelle che il sistema riesce a servire in un certo lasso temporale definisce la capacità relativa di ciascuna sede. A tale riguardo ciascuna sede

della rete nazionale del CNVVF è stata considerata alla stregua di un sistema di servizio ad n canali e a richieste rifiutate. Calcolata la media temporale di incendi boschivi nella zona di competenza operativa di ciascuna sede VVF (flussi di richieste) e il numero di squadre o partenze in essa operative (canali), si può calcolarne il regime limite di servizio corrispondente. A partire quindi dai parametri statistici del processo di soccorso ricavati dalle statistiche CFS 2010-2016 (flusso di richieste, canali, tempo di servizio) si è utilizzata a questo punto la formula di Erlang per calcolare il regime limite di saturazione del sistema di servizio ideale corrispondente. Nella formula compare, oltre al numero n di canali attivi, la densità ridotta α di richieste, ottenuta moltiplicando la densità oraria λ per il tempo medio di servizio m_{ser} . Si sono in questo modo calcolati i valori della capacità relativa Q_{rel} di ciascuna delle sedi per diversi valori di α e per un numero n variabile di canali attivi, in generale diversi da sede a sede.

$$Q_{rel} = 1 - P_{sf} = 1 - \frac{\alpha^n}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!}}$$

I dati sono stati calcolati con riferimento ai mesi in cui nei vari anni si sono verificati gli incendi in modo da poter calibrare l'ottimizzazione secondo archi temporali specifici e ristretti. I dati di fonte CFS (AIB-fn) per le regioni a statuto ordinario sono stati inseriti in una tabella ovvero in un foglio elettronico in cui è stata convertita la formulazione del problema di ottimizzazione. Il foglio elettronico è stata utilizzato per misurare le prestazioni del sistema di servizio delle reti delle



Fig. 12 - Indice di rischio R = pericolosità (% incendi per Comando VVF su totale nazionale) per danno (aree percorse dal fuoco in km2) (metodo di classificazione Quantile).

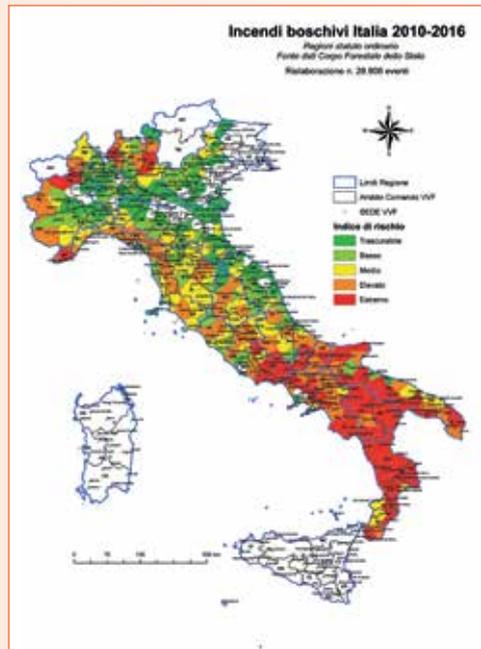


Fig. 13 - Indice di rischio R = pericolosità (% incendi per Sede VVF su totale nazionale) per danno (aree percorse dal fuoco in km2) (metodo di classificazione Quantile).



Fig. 14 - Capacità relativa del sistema di servizio delle Sedi VVF (metodo di classificazione Quantile).

sedi operative territoriali VVF e per ottimizzare la distribuzione delle risorse. Le prime tre colonne (A,B,C) contengono i dati rispettivamente relativi a Regione, Provincia, Comando VVF competente di ciascuna Sede operativa territoriale VVF (colonna D) con indicata la Categoria funzionale (colonna E). Assunto il parametro I della legge di Poisson pari alla media di incendi boschivi registrata in un dato arco temporale nel territorio di competenza individuato per ciascuna sede (poligono) nel periodo 2010-2016, le colonne da F a Q riportano il numero assoluto di incendi boschivi nei singoli mesi dell'anno, la colonna R il totale incendi nel

periodo 2010-2016, la colonna S la superficie totale percorsa dal fuoco in ettari nel periodo 2010-2016, le colonne da T ad AE le medie mensili nei singoli mesi dell'anno e nelle colonne AF e AG rispettivamente la media eventi totale mensili per il periodo 2010-16 () e la media eventi oraria per lo stesso periodo 2010-16 (). In questo modo è stato possibile calcolare un "coefficiente di pericolosità" per singole scale spazio-temporali (mese, ora) che esprime quantitativamente la propensione al verificarsi di eventi di incendio boschivo che insiste su un dato territorio in un certo periodo dell'anno . La colonna AH contiene per ciascuna sede la

Funzione $P(La)$ () probabilità eventi $(1-Exp(-La))$. È possibile identificare tale coefficiente in maniera diretta anche come "indice di rischio" con il danno della perdita del bene "bosco". I risultati ottenuti rappresentano una misura del carico medio di incendi ovvero il carico di lavoro (commisurato al rischio territoriale) cui ciascuna sede VVF è chiamata a corrispondere con le proprie risorse (partenze) sempre occorre sottolinearlo in base ai dati statistici del fenomeno incendi boschivi e della loro durata provenienti dal disciolto Corpo Forestale dello Stato e ai dati dei tempi di raggiungimento delle località di incendio dalle sedi VVF stimati grazie al modello di rete stradale. Seguono le colonne da AI ad AO utilizzate per definire il tempo medio di servizio m_{Ser} . Innanzitutto nella colonna AI il tempo medio di risposta $\{T^{um}\}$ tra la segnalazione dell'incendio e l'uscita dalla sede operativa della squadra d'intervento. Essendo il lavoro riferito alle sedi VVF non si sono in questo caso usati i dati di provenienza

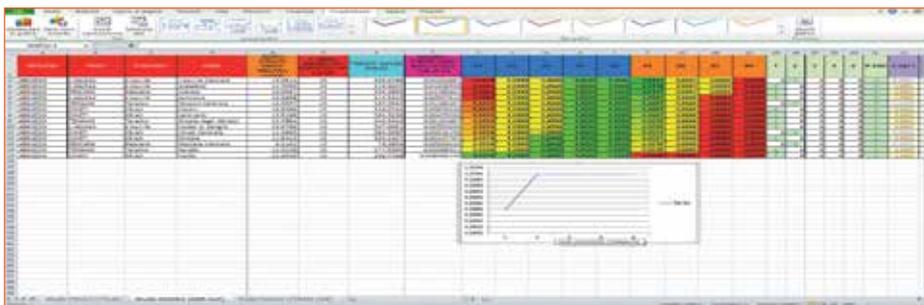


Fig. 15 - Capacità relativa del sistema di servizio delle Sedi VVF (metodo di classificazione Quantile).

CFS è si è usato sulla base delle statistiche VVF il tempo medio di 5 minuti per tutte le sedi. La colonna **AJ** contiene il tempo di arrivo medio stimato (sulla base del modello di rete stradale approntato per la network analysis descritto in precedenza) in minuti della squadra d'intervento, la colonna **AK** il tempo medio in minuti necessario alla squadra intervenuta per espletare un intervento $\{T^{img}_j\}$, la colonna **AL** il tempo di rientro in sede medio stimato (sulla base del modello di rete stradale approntato per la network analysis descritto in precedenza e convenzionalmente aumentato del 50% per il mancato uso della sirena sulla base delle statistiche d'intervento VVF) in minuti della squadra, la colonna **AM** il tempo medio necessario alla squadra rientrata in sede per ridisporre in prontezza operativa $\{T^{tbl}_j\}$, Seguono le colonne **AN** tempo medio di servizio in minuti (somma delle precedenti colonne da **AI** ad **AM**), **AO** tempo medio di servizio in ora e centesimi di ora. La colonna **AP** contiene i valori della densità eventi ridotta () del flusso in ora e cent. di ora definita come il prodotto della densità b per il tempo di servizio m_{Tser} . I valori di che descrivono i flussi di richieste per ciascuna sede possono essere trattati separatamente per *periodi di riferimento*. A partire dalla formula di Erlang sono stati quindi calcolati nelle colonne da **AQ** ad **AU** i valori della capacità relativa Q_{rel} di ciascuna delle sedi per diversi valori di e per un numero di canali attivi (partenze/squadre AIB), le variabili di decisione comprese nel range fissato da 1 a 5 e assegnate alle colonne **AZ**-**BD**.
L'ottimizzazione della rete delle sedi può a questo punto essere effettuata utilizzando come pesi

i fattori di capacità con l'obiettivo da massimizzare (funzione obiettivo) identificato con la somma delle capacità relative delle basi (cella obiettivo nella colonna **BQ**) e tra i vincoli quello del numero complessivo di risorse da ottimizzare (numero di squadre già disponibili nelle sedi operative incrementato da quelle previste in aggiunta in base agli accordi convenzionali) (colonna **BE**).
Due mappe sintetizzano questi dati. La prima è relativa all'indice di rischio per ambito di competenza delle sedi VVF (Indice di rischio R = pericolosità (% incendi per sede VVF su totale nazionale per danno ovvero aree percorse dal fuoco in km²) (metodo di classificazione in cinque classi Quantile) mentre la seconda è relativa alla capacità relativa del sistema di servizio delle sedi VVF (metodo di classificazione in cinque classi Quantile: estremo, elevato, medio, basso e trascurabile).
Convertita la formulazione del problema di ottimizzazione in un foglio elettronico sono diversi i sistemi di calcolo automatici che possono fornire una soluzione ottima della distribuzione di risorse aggiuntive da concordare con le Regioni, tale da massimizzare la somme delle capacità relative delle sedi della rete. Tra i più elementari linguaggi di modellizzazione si è scelto quello di ottimizzazione con il risolutore inserito nel programma di foglio elettronico Microsoft Excel.
E' anche possibile basare empiricamente e visivamente la distribuzione ottimale delle risorse a partire dall'ordinamento delle capacità relative del sistema di servizio dal valore più piccolo al più grande per singoli ambiti nel foglio elettronico utilizzato oppure massimizzare l'efficienza complessiva del sistema indivi-

CONVENZIONI Area 3517	SQUADRE AIB VVF	SOS VVF	ADDETI VVF nelle SOUP	ELICOTTER VVF	Sedi in aree a rischio ESTREMO	Sedi in aree a rischio ELEVATO	Numero sedi con capacità relativa di risposta bassa
ABRUZZO	3	2	1	0	0	5	0
BASILICATA	6	5	1	1	0	1	5
CALABRIA	7	5	2	0	18	2	16
CAMPANIA	10	24	0	0	13	13	10
EMILIA ROMAGNA	9	9	0	1	0	0	0
FRIULI VENEZIA GI.	-	-	-	-	ND	ND	ND
LAZIO	7	14	3	0	7	0	0
LIGURIA	5	4	3	0	3	7	5
LOMBARDIA	-	-	-	-	3	4	4
MARCHE	8	2	1	0	0	0	0
MOLISE	3	2	2	0	3	2	1
PIEMONTE	-	3	-	-	3	4	3
PUGLIA	8	16	3	0	13	7	0
SARDEGNA	6	3	1	0	ND	ND	ND
SICILIA	15	0	1	2	ND	ND	ND
TOSCANA	4	1	1	0	0	11	7
UMBRIA	4	3	3	0	0	4	0
VENETO	-	-	-	-	0	0	1
14 Convenzioni attive + 3 aggiuntive	95	93	22	3	17	60	18

Tab. 2 - Sedi ad aree a rischio elevato, estremo e con bassa capacità relativa di risposta.

duandola e fissandola a priori in una soglia minima di capacità relativa per tutte le sedi.

Sedi in aree a rischio estremo con bassa capacità relativa di risposta		
BASILICATA	Matera	Ferrandina
BASILICATA	Matera	Policoro
BASILICATA	Potenza	Lauria
BASILICATA	Potenza	Melfi
BASILICATA	Potenza	Pescopagano
CALABRIA	Catanzaro	Chiaravalle
CALABRIA	Catanzaro	Lametia Terme
CALABRIA	Cosenza	Castrovillari
CALABRIA	Cosenza	Paola
CALABRIA	Cosenza	Rende
CALABRIA	Cosenza	Rossano
CALABRIA	Cosenza	San Giovanni in Fiore
CALABRIA	Crotone	Scalea
CALABRIA	Crotone	Cirò
CALABRIA	Crotone	Petilia Policastro
CALABRIA	Reggio Calabria	Melito di Porto Salvo
CALABRIA	Reggio Calabria	Siderno
CALABRIA	Vibo Valentia	Serra San Bruno
CAMPANIA	Benevento	Bonea
CAMPANIA	Benevento	Telese
CAMPANIA	Caserta	Teano
CAMPANIA	Salerno	Giffoni Valle Piana
CAMPANIA	Salerno	Mercato San Severino
CAMPANIA	Salerno	Sala Consilina
CAMPANIA	Salerno	Santa Marina
CAMPANIA	Salerno	Sarno
CAMPANIA	Salerno	Vallo della Lucania
LAZIO	Frosinone	Cassino
LAZIO	Latina	Castelforte
LAZIO	Latina	Gaeta
LAZIO	Latina	Terracina
LOMBARDIA	Como	Menaggio
MOLISE	Campobasso	Santa Croce di Magliano
PUGLIA	Bari	Altamura
PUGLIA	Bari	Corato
PUGLIA	Foggia	Cerignola
PUGLIA	Foggia	Deliceto
PUGLIA	Foggia	Vico del Gargano
PUGLIA	Taranto	Castellaneta

Tab. 3 - Sedi ad aree a rischio estremo con bassa capacità relativa di risposta

Conclusioni

Nel caso del nostro studio l'applicazione del "metodo delle code", procedimento dedicato di ottimizzazione nella prospettiva della Teoria delle Code, non solamente è riuscita nonostante alcune restrizioni a modellizzare la realtà del fenomeno incendi boschivi e del suo contrasto attraverso la rete delle sedi di servizio del CNVVF in modo attendibile ma ha fornito con i suoi risultati indicazioni che confrontate con i dati della stagione AIB 2017 sono risultate del tutto soddisfacenti per lo scopo prefisso.

Avrebbero permesso infatti di calibrare in maniera più adeguata la stima delle risorse da richiedere in convenzione da parte delle varie Regioni al CNVVF e la loro distribuzione, nel territorio e nei vari periodi della campagna AIB. Il dispositivo operativo prefigurato attra-

verso l'applicazione del metodo delle code non risulta una ipotesi irrealistica rispetto al livello fissato nella stagione AIB 2017 attraverso le convenzioni

A differenza di Candide-Pangloss siamo coscienti che la soluzione di ottimizzazione trovata possa non essere la migliore di quelle possibili.

In ogni caso l'aderenza alla realtà del modello previsionale è correlata strettamente alla quantità e qualità delle informazioni disponibili.

L'impatto dell'uso del Gis è stato rilevante in quanto ha permesso l'utilizzo pieno della dimensione spaziale dei dati per perseguire l'obiettivo dell'ottimizzazione.

Va soggiunto che presso molte Direzioni Regionali VVF allo scopo di monitorare in tempo reale il fenomeno degli incendi boschivi e delle sue dinamiche sul territorio sono stati predi-

sposti sistemi informative su piattaforma dedicate Gis ASSET AIB che hanno riproposto la positiva esperienza maturata nel sisma del centro Italia 2016 consentendo di ottimizzare l'allocatione e uso delle risorse disponibili con continue rimodulazioni e ottimizzazioni dei tempi di risposta del dispositivo e delle modalità di intervento delle squadre sul territorio.

Ovvero la tecnologia sta consentendo di affiancare alla fase di pianificazione previsionale *ex ante* una fase di gestione in continua revisione e miglioramento.

Le indicazioni di metodo per valutare il dimensionamento delle risorse possono sicuramente essere riproposte e nell'ambito di studi volti a migliorare l'efficienza dell'intera rete di soccorso tecnico urgente.

NOTE

1 Lo studio riprende l'impostazione teorica e il metodo ("Metodo delle code") approntato e utilizzato da Fabrizio Di Liberto per l'ottimizzazione della dislocazione stagionale ottimale sul territorio nazionale della flotta aerea Antincendi Boschivi dello Stato: F. Di Liberto, "Lo schieramento strategico ottimale per le flotte aeree antincendi boschivi" in *Silvae*, anno I n. 1 (gennaio-aprile 2005), pp. 164-195.

BIBLIOGRAFIA

- Adacher, L. <http://adacher.dia.uniroma3.it/automazione1/TeoriaCode.pdf>.
- Biagini, F. & M. Campanino (2006), *Elementi di probabilità e statistica*. Springer.
- Cesti, G. (1999), *Antincendio boschivo*, Musumeci Editore, 1999.
- Conti Guglia, F. (2004) *Manuale Antincendio Boschivo*, sito internet: www.ambientediritto.it.
- Di Liberto, F. (gennaio-aprile 2005) "Lo schieramento strategico ottimale per le flotte aeree antincendi boschivi" in *Silvae*, anno I n. 1, pp. 164-195.
- Kleinrock, L. (1992) *Sistemi a coda: introduzione alla teoria delle code*, Milano, 1992.
- Ventsel, E.S. (1983) *Teoria delle probabilità*, Edizioni Mir.

Fonti Dati statistici:

- Sistema Informativo della Montagna (SIM-FEI / AIBfn), (fonte: CFS)

- Dati statistici Parchi Nazionali – Sito istituzionale DPN, (fonte: MATTM)

- EFFIS – European Forest Fires Information System, (fonte: EFFIS-UE)

Nelle mappe le aree in bianco segnalano la mancanza di dati.

ABSTRACT

In recent decades the literature on rescue systems has recorded a very large number of contributions that have used, while declining according to different perspectives, the Queue Theory to prepare procedures and models to understand their behavior, measure and optimize performance in terms of efficiency of the service rendered in the territory by these particular systemic structures so important from a social point of view.

These are very complex structures because of the predictable and unpredictable factors of variability that intervene both in terms of the number of requests and the time necessary to satisfy them.

PAROLE CHIAVE

INCENDI; TECNOLOGIE GEOSPAZIALI; DISTRIBUZIONE RISORSE; OTTIMIZZAZIONE

AUTORE

MICHELE FASOLO
MICHELEFASOLO@GMAIL.COM



GIOCA D'ANTICIPO

Il **monitoraggio satellitare** della superficie terrestre fornisce informazioni aggiornate e puntuali per prendere decisioni rapide e consapevoli in numerosi contesti applicativi.

È la soluzione ideale per il monitoraggio di **aree in frana** o subsidenza; individuare potenziali cedimenti strutturali di **reti idriche** e fognarie; monitorare la stabilità di **reti stradali** e ferroviarie, ponti e viadotti; valutare la qualità delle **acque marino-costiere**; identificare e classificare le **aree percorse dal fuoco** e le **trasformazioni antropiche** nel tempo.

Attiva il tuo servizio di monitoraggio continuo con **aggiornamenti giornalieri**, settimanali o mensili attraverso la sottoscrizione di un **abbonamento annuale** alla **piattaforma Rheticus®**.

Disporrai di report, mappe ed indicatori di sintesi progettati per soddisfare le tue esigenze operative.



UTILITIES

Oil&Gas, Energia,
Estrazione, Reti
idrico-fognarie,
Teleriscaldamento,
Dissalatori



INGEGNERIA

Aeroporti, Ferrovie,
Strade, Tunnel, Dighe,
Ponti, Metropolitane,
Perforazioni offshore,
Dragaggi



FOOD

Pesca,
Acquacoltura,
Previsioni sulle colture,
Precision farming



GOVERNO

Urbanistica,
Frane e subsidenza,
Incendi boschivi,
Acque
marino-costiere

Richiedi una quotazione per la tua area di interesse
su www.rheticus.eu