

CONTRIBUTI PER UNA PIANIFICAZIONE A DIVERSE SCALE FINALIZZATA ALLA RESILIENZA

Alessandra Casu¹, Marco Loi², Claudio Tedde³

SOMMARIO

Il lavoro propone un approccio metodologico che conduce alla progettazione integrata e alla pianificazione alle diverse scale, cercando di bilanciare esigenze spesso contrastanti, dimostrando da un lato come una parte rilevante delle esigenze di mitigazione degli effetti dell'ambiente urbano sul clima, di adattamento dello stesso agli effetti del cambiamento climatico possano essere soddisfatte da un'adeguata matrice dell'ambiente costruito riletta in una chiave bio-climatica valutata attraverso l'uso di un semplice coefficiente (rapporto di pioggia). Dall'altro, come un insieme di pratiche in base agli usi del territorio (forestali, agropastorali, periurbani e urbani), viste in termini di miglioramento delle condizioni socio-economiche del territorio, siano chiave nella prevenzione degli incendi attraverso il confronto della simulazione dei suoi effetti con un modello di previsione (*burn probabilities*) nelle condizioni attuali attraverso lo studio dei venti e l'uso del *Fuel Model* utilizzato in altri studi da esperti del settore.

* sessione organizzata 14: "Measuring Spatial Resilience"

¹ Università degli Studi di Sassari - Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica, Pal. Pou Salit, piazza Duomo 6, 07041, Alghero (SS), e-mail: casual@uniss.it (corresponding author).

² Università degli Studi di Sassari - Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica, Pal. Pou Salit, piazza Duomo 6, 07041, Alghero (SS), e-mail: marco.loi2090@gmail.com.

³ Università degli Studi di Sassari - Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica, Pal. Pou Salit, piazza Duomo 6, 07041, Alghero (SS), e-mail: clatedde@gmail.com

1. Introduzione

All'interno del processo di gestione del rischio, il concetto di resilienza viene spesso interpretato in un'ottica proattiva e più simile al concetto di "antifragilità" elaborato da Taleb (2012) e ripreso nelle scienze territoriali da Bleicic e Cecchini (2016), come la capacità di un determinato sistema di anticipare, prepararsi e rispondere alle minacce con il minimo danno sotto il profilo sociale, economico ed ambientale, che estende alla sfera antropica (Walker e Salt, 2006) la nozione di resilienza utilizzata in ecologia (Holling, 1973).

Ricerche sul comportamento riguardo ai pericoli naturali hanno infatti rilevato che diverse variabili socioeconomiche, tra cui educazione (Burton *et al.*, 1978), reddito (Ivi), età (Mileti, 1975), permanenza nel territorio (Baker, 1977) e preferenze per quanto riguarda la localizzazione (Bridges, 1983) sono strettamente correlate con la comprensione del pericolo. Altre ricerche hanno indagato anche su strategie e politiche pubbliche per la limitazione dei rischi naturali: Petak e Atkisson (1982) hanno identificato tre strategie (mitigazione del rischio attraverso le modificazioni del territorio; minimizzazione della vulnerabilità attraverso il disegno e la costruzione degli edifici; limitazione dell'esposizione della popolazione al rischio); Hewitt e Burton (1971) suggeriscono anche altre strategie come i programmi di sicurezza, l'educazione e l'attività pianificatoria.

Solo di recente quest'ultimo approccio è stato applicato nella prevenzione degli incendi – in particolar modo quelli definiti *large fires* (ovvero, con un'estensione superiore ai cento ettari) – grazie all'*USDA Forest Service*: in precedenza, infatti, la maggior parte degli studi era dedicata al comportamento del fenomeno finalizzato agli interventi di emergenza per il contenimento e lo spegnimento dell'incendio, con rare eccezioni dedicate anche alla pianificazione e alla gestione del materiale combustibile.

Quest'ultimo tema è presente in Italia nella Legge-quadro n. 353/2000 in materia di incendi boschivi, che individua tre forme di lotta agli incendi: previsione, prevenzione e lotta attiva. La previsione consiste "nell'individuazione delle aree e dei periodi a rischio incendio boschivo, nonché degli indici di pericolosità" e la prevenzione "nel porre in essere azioni mirate a ridurre le cause e il potenziale innesco d'incendio nonché interventi finalizzati alla mitigazione dei danni conseguenti", con un accenno a "interventi colturali idonei volti a migliorare l'assetto vegetazionale degli ambienti naturali e forestali".

Il primo obiettivo può essere conseguito attraverso le *burn probabilities*, che – come proposto in questa sede – permettono anche di perseguire la prevenzione, strutturando e valutando strategie e azioni future e la loro effettiva utilità per diminuire o ritardare lo sviluppo dell'incendio: non solo gli usi del suolo, ma anche la pulizia del sottobosco, la presenza di barriere naturali o antropiche (ad esempio, le strade, in quanto statisticamente rappresentano le aree in cui sono più presenti punti d'ignizione, ma che allo stesso tempo fungono da barriera alla diffusione del fuoco). Ciò in cui la Legge-quadro n.353/2000 è carente è la regolamentazione delle aree antropizzate, comprese quelle agricole: la presenza di attività agro-pastorali e agro-forestali influisce fortemente sull'indice di pericolosità di innesco di un incendio di grandi dimensioni, che può causare danni di gran lunga superiori ai piccoli incendi, i quali a loro volta sono gestibili dalle forze impegnate nella lotta attiva.

Analizzate le pratiche agricole e gli usi territoriali che limitano l'avanzamento del fuoco, la pianificazione di settore potrebbe dunque incentivare il cambiamento nella fruizione delle risorse naturali, per fruirne attraverso azioni e pratiche volte innanzitutto a limitarne il degrado, ristabilirne l'equilibrio ecosistemico, proporre economie utili allo sviluppo.

Un approccio parallelo è qui proposto, nella seconda parte del saggio, per un tema diametralmente opposto: la gestione delle acque in caso di eventi meteorici sostenuti, se non eccezionali o estremi. Anche in questo caso, infatti, viene proposto un indicatore/parametro valutativo sperimentale dei processi di pianificazione, applicato alla definizione di infrastrutture "verdi" e "blu" (Henrie, 2008; Tyler, 2016; Liao *et al.*, 2017; Rosenzweig e Fekete, 2018; Brears, 2018: 43-61) in un'ipotesi applicativa.

In entrambi i casi si propone qui, più che una misura della resilienza di un territorio, una sorta di misura della "fragilità residua" come strumento di valutazione *ex ante* dell'efficacia di programmi di azione finalizzati ad accrescere la resilienza e di definizione degli interventi – più che di prevenzione – di contenimento degli impatti residui.

2. Un primo ambito tematico di applicazione: gli incendi

Una prima risposta per diminuire la fragilità e la vulnerabilità sta in un'adeguata gestione delle risorse naturali: il presente capitolo si pone l'obiettivo di fornire indicazioni con riferimento ai fenomeni incendiari, grazie a mappe di combustibilità come strumento per l'individuazione del comportamento del fuoco e delle aree maggiormente a rischio di percorribilità da parte degli incendi (Keane et al. 2006).

Gli incendi hanno una particolare rilevanza nei Paesi del bacino del Mediterraneo, considerato come un *hot-spot* per gli studi sul fenomeno, non solo a causa dei processi di spopolamento rurale, abbandono delle terre e riduzione degli usi forestali tradizionali, ma soprattutto perché, secondo la maggior parte dei modelli climatici, il Mediterraneo ha una probabile evoluzione verso un clima caldo e asciutto, con crescente rischio di episodi di ondate di calore, che provocherebbero un aumento del pericolo e degli episodi incendiari (Giannakopoulos et al. 2009, Dimitrakopoulos et al. 2011, Koutsias et al. 2013). Studi concentrati sull'area mediterranea hanno evidenziato come le precipitazioni siano in progressivo calo in termini di giorni con pioggia, al contrario dei giorni di estremo caldo che sono in netto aumento; questo fatto potrebbe causare un aumento di rischio siccità estivo che a sua volta, secondo il tipo di vegetazione, potrebbe causare un aumento del rischio incendio (Arca et al., 2012). Le variazioni climatiche influenzano dunque la probabilità di incendi a diverse scale temporali, attraverso i loro effetti su presenza e infiammabilità del combustibile vegetale (Pausas e Ribeiro, 2013; Pereira *et al.*, 2005; Bedia *et al.*, 2014): il clima influenza infatti la distribuzione spaziale della vegetazione e l'interazione della stessa con la variabilità climatica determina la disponibilità e l'infiammabilità della vegetazione viva e morta, che costituisce il combustibile degli incendi boschivi (Westerling, 2010). L'aumento del numero di eventi eccezionali fa aumentare i rischi derivanti da attività antropiche e no: picchi di calore durante la stagione estiva aumentano il rischio incendio, picchi di volume di pioggia aumentano quello idrogeologico.

In questo contesto, per cause diverse il *trend* dei cosiddetti grandi incendi mostra il loro aumento nel numero e nell'estensione delle aree attraversate dal fuoco, in particolar modo nelle penisole iberica, italiana e greca e rispettive isole (Bacciu, 2008).

2.1 Un primo ambito geografico di applicazione: la Sardegna interna

La Sardegna è sicuramente una delle regioni del bacino mediterraneo più interessate dai fenomeni incendiari. Essi costituiscono un rischio rilevante per tutto il territorio isolano, sia per la perdita di patrimoni naturali e culturali, sia perché provocano una catena di rischi, diretti e indiretti, per l'uomo: in Sardegna sono elevate le densità di aree di interfaccia urbano-rurale (WUI) e di aree agricole e boschive di alto valore, per le quali gli incendi presentano valori di rischio gravi. Il pericolo non è di origine naturale, ma le più frequenti cause di incendio sono antropiche e, a causa della cattiva gestione del combustibile naturale, si generano situazioni di pericolo per vite umane, società, economie ed ecosistemi naturali.

Gli incendi boschivi sono concentrati da giugno a settembre. In questo periodo, nel quindicennio 1995-2009, in Sardegna è stata riscontrata un'incidenza di circa 2.500 fuochi/anno, con una media di circa 17.000 ettari/anno di aree colpite da fuoco (Salis et al., 2012), con picchi di ignizione e aree bruciate nel mese di luglio. Il fenomeno ha origini remote ed era principalmente legato alle pratiche pastorali e alla predisposizione del suolo a nuovi pascoli: un uso radicato, infatti, era il debbio della macchia poco prima delle piogge autunnali, in modo da accelerare il germogliare dell'erba (Sereni,). A seguito dell'Editto delle chiudende (Birocchi, 1982) infatti, l'uso del fuoco è passato da strumento agro-pastorale a strumento di vendetta. Fino allo scoppio della Seconda Guerra mondiale, gli incendi che interessavano la Sardegna avevano già effetti rilevanti: se nel 1925 gli ettari boschivi bruciati in tutta Italia erano 7173, in Sardegna erano 1105 e, considerando che la superficie boschiva sarda rappresentava circa il 2% di quella del Regno (Le Lannou, 1941), l'incidenza del fenomeno era particolarmente elevata. Se la media annuale sarda di bosco bruciato nei primi quarant'anni del '900 era tra i 1.000 e i 1.500 ettari, nel quarantennio circa tra 1971 e il 2014 l'area media bruciata in Sardegna corrisponde a 7294 ha.

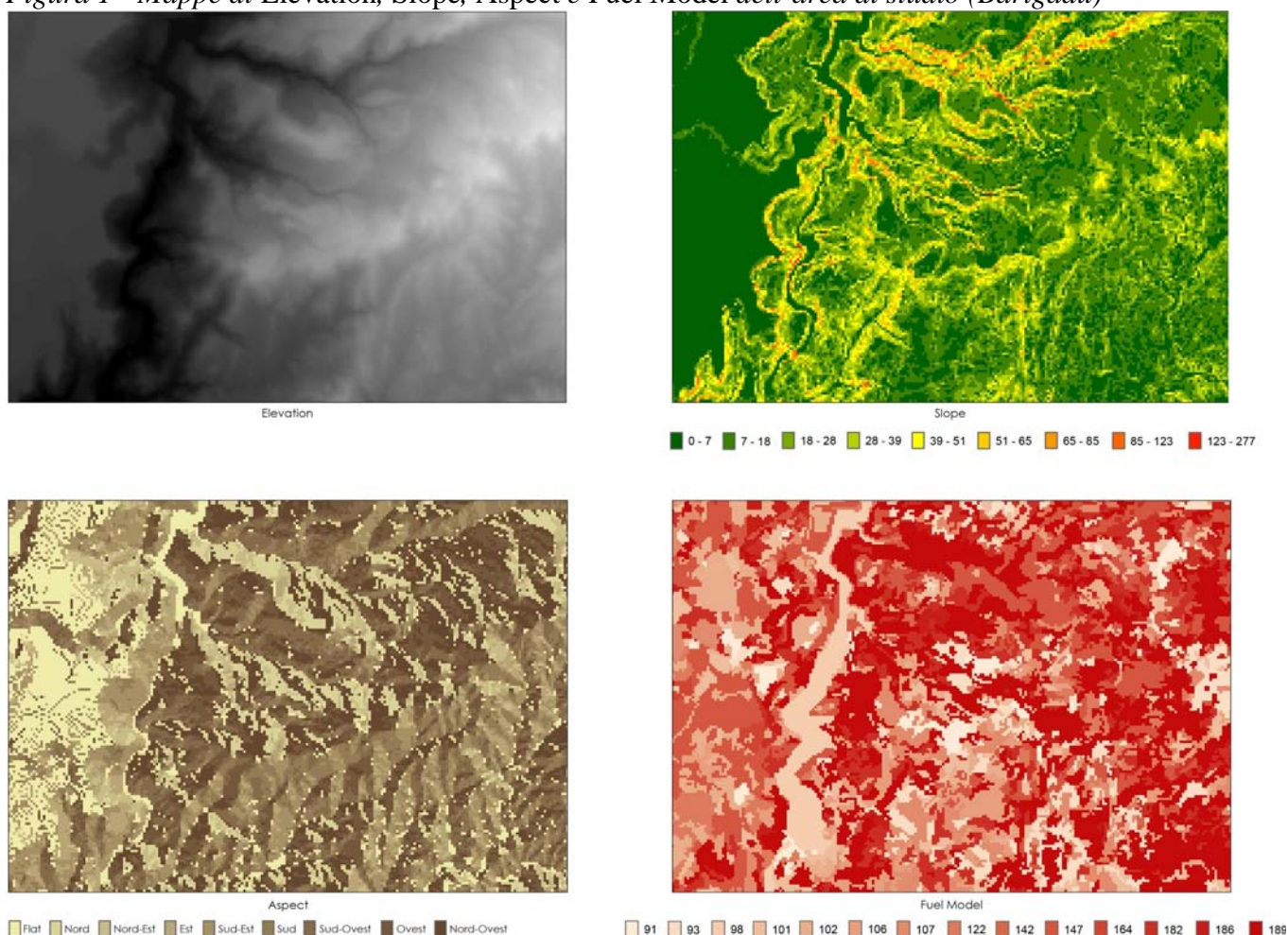
Tra i motivi di questo aumento risultano non solo gli episodi colposi e dolosi, ma anche l'abbandono delle terre e delle attività agropastorali legate alle aree boschive, con un aumento notevole del rischio incendio.

L'abbandono di usi e consuetudini ha aggravato il propagarsi del fenomeno incendiario e le aree che hanno maggiormente risentito del fuoco sono, inevitabilmente, i terreni adempirivi e quelli con ampia copertura boschiva che, danneggiata dal fuoco o da un taglio non più sapiente, hanno registrato ripercussioni anche sul piano della franosità. Il lavoro partirà dunque da un'analisi del pericolo incendiario, delle attività agricole passate e presenti, per proporre uno strumento di valutazione del pericolo a valle di politiche di sviluppo rurale, focalizzate su un'area della Sardegna interna caratterizzata da fenomeno di spopolamento e abbandono: il Barigadu, lungo le sponde meridionali del lago Omodeo.

2.2 Metodologia e mappatura del pericolo di incendio

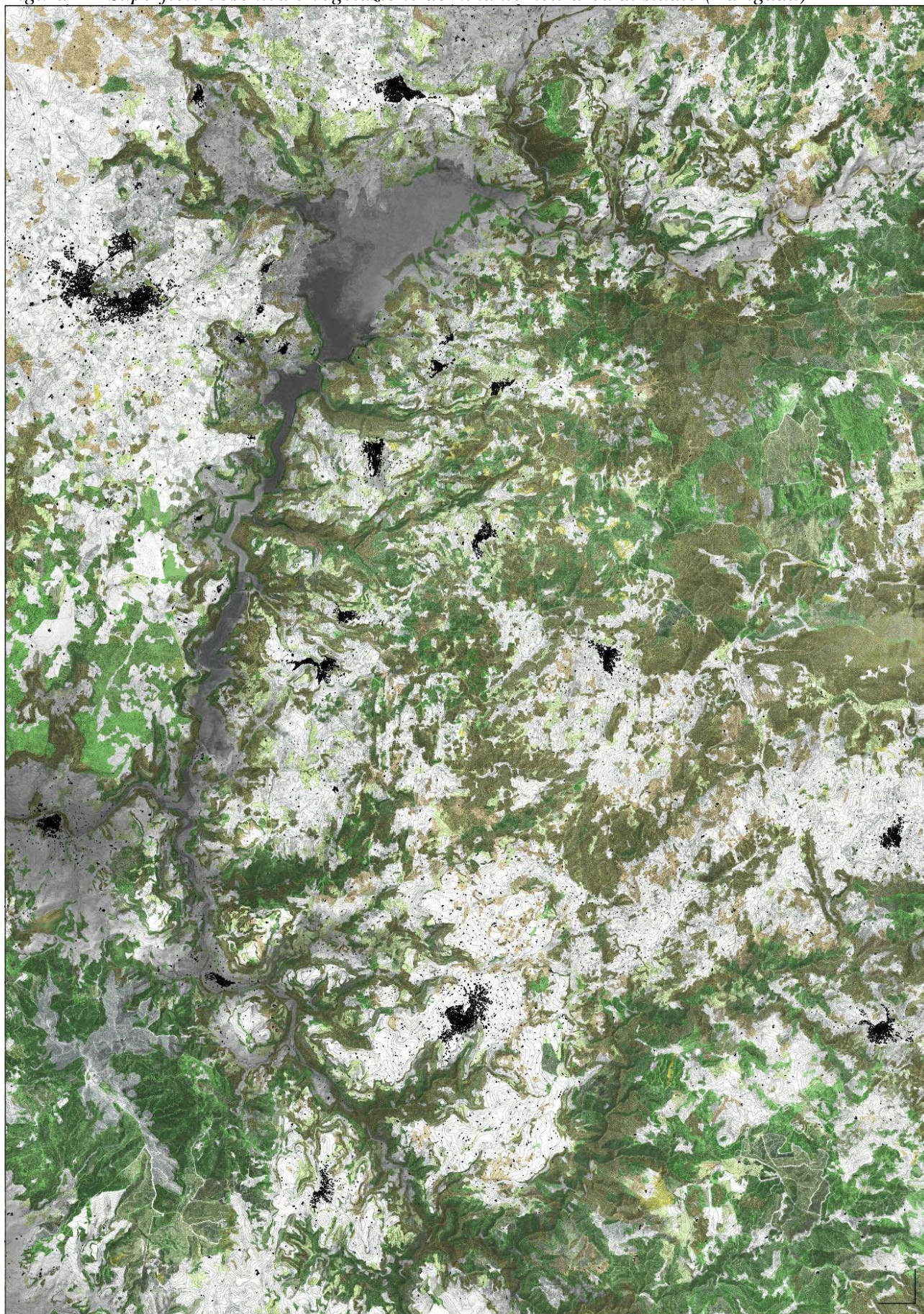
La simulazione e l'uso di modelli per analizzare le variazioni spaziali degli incendi boschivi e d'interfaccia in relazione alle caratteristiche dell'area in esame sono alla base della pianificazione e della valutazione delle politiche agroforestali ai fini della diminuzione degli incendi. La costruzione di tale base passa attraverso l'utilizzo di software GIS, *FlamMap* (per la mappatura del pericolo incendiario) e *WindNinja* (per la simulazione del comportamento del vento, basata sull'orografia e la vegetazione dominante), tra i più utilizzati nella letteratura sulla previsione degli incendi, avendo *output* utilizzabili in altri software e una scala di dettaglio variabile. Lo studio dell'orografia è basato sull'elaborazione GIS del *Digital Elevation Model* della Regione Sardegna con passo 10 m per la redazione della carta dei rilievi (*elevation*), utile poi alla costruzione delle carte di esposizione dei versanti (*aspect*) e di pendenze dei rilievi espressa in gradi (*slope*), con una risoluzione di 50 m. La fase successiva è la realizzazione di una mappa del *Fuel Model*, ovvero una rappresentazione cartografica dell'uso del suolo e le sue specificità per ciò che riguarda la combustione, a valori variabili secondo la stagione. Per questa ragione, sono necessarie la composizione dei suoli e, successivamente, le specie vegetazionali soprattutto in ambito forestale.

Figura 1 - Mappe di Elevation, Slope, Aspect e Fuel Model dell'area di studio (Barigadu)



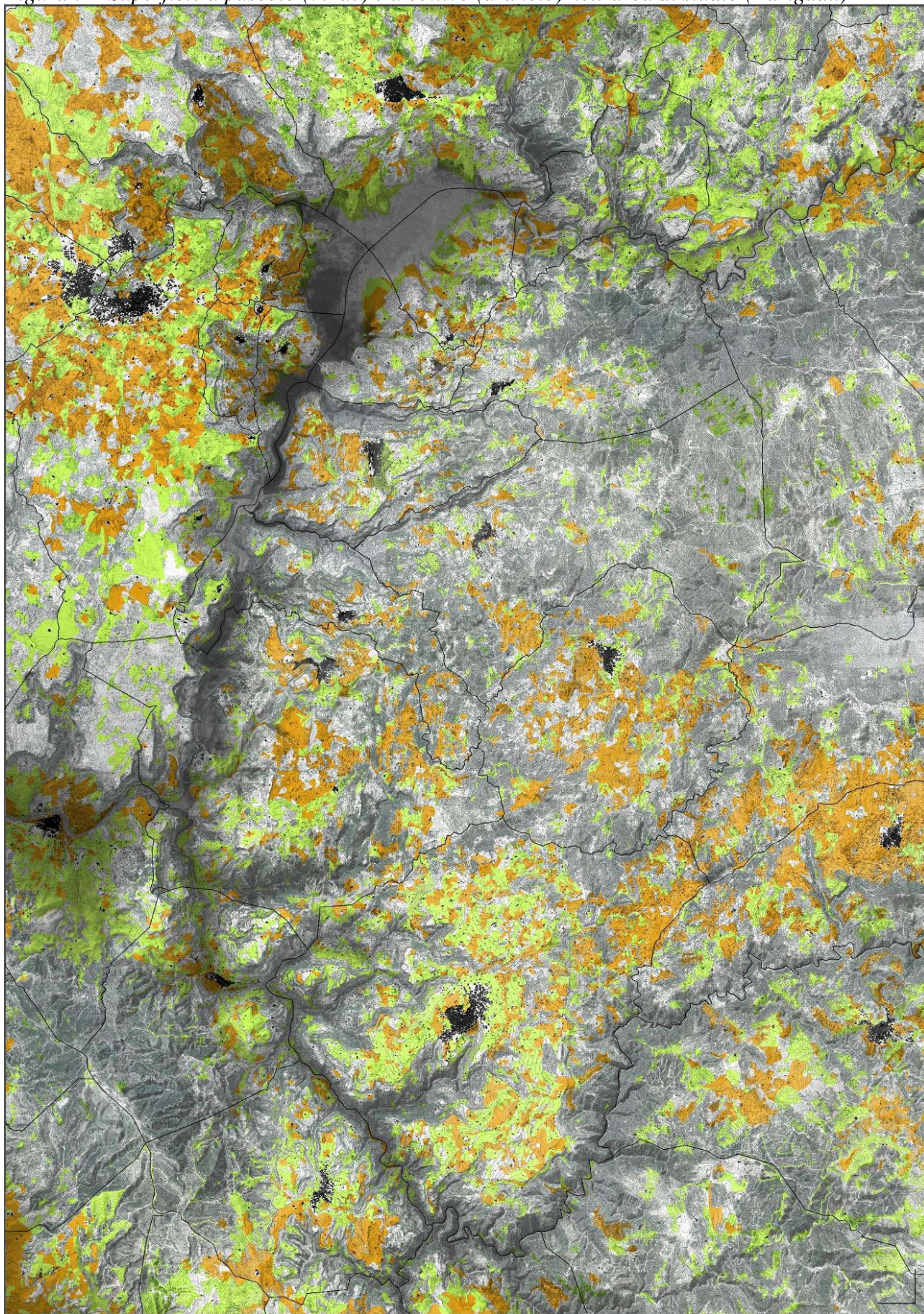
Fonte: Loi (2016)

Figura 2 – Superficie boschiva e vegetazione dominante nell'area di studio (Barigadu)



Fonte: Loi (2016)

Figura 3 – Superficie a pascolo (verde) e a coltivo (arancio) nell'area di studio (Barigadu)



Fonte: Loi (2016)

Tabella 1 – Corrispondenza tra usi del suolo e Fuel Model

Cod. Fuel Model	Uso del Suolo
nb 91	Aree estrattive
	Aree ricreative e sportive
	Cantieri
	Cimiteri
	Fabbricati rurali
	Impianti a servizio delle reti di distribuzione
	Insedimenti industriali/artigianali e commerciali e spazi annessi
	Insedimento di grandi impianti di servizi
	Reti stradali e spazi accessori
	Tessuto residenziale compatto e denso
	Tessuto residenziale rado
	Tessuto residenziale rado e nucleiforme
nb 93	Aree verdi urbane
	Culture temporanee associate a colture permanenti
	Culture temporanee associate ad altre colture permanenti
	Culture temporanee associate al vigneto
	Frutteti e frutti minori
	Oliveti
	Seminativi semplici e colture orticole a pieno campo
	Sistemi colturali e particellari complessi
	Vigneti
	Vivai
nb 98	Bacini artificiali
	Fiumi, torrenti e fossi
	Formazioni di ripa non arboree
	Pareti rocciose e falesie
gr1 101	Aree con vegetazione rada <40%
	Prati artificiali
	Prati stabili
gr2 102	Aree a pascolo naturale
gr6 106	Aree prev occupate da coltura agrarie con presenza di spazi naturali importanti
gr7 107	Seminativi in aree non irrigue
gr2 122	Gariga
sh2 142	Cespuglieti ed arbusteti
sh7 147	Macchia Mediterranea
tu4 164	Arboricoltura con essenze forestali di conifere
tl2 182	Arboricoltura con essenze forestali di latifoglie
	Aree a ricolonizzazione artificiale
	Aree agroforestali
	Pioppetti, saliceti, eucalipteti anche misti
tl6 186	Aree a ricolonizzazione naturale
tl9 189	Boschi misti di conifere e latifoglie
	Boschi di conifere
	Boschi di latifoglie
	Sugherete

Fonte: Loi (2016)

Il *Fuel model* è elaborato da un'interpolazione tra la CORINE *Land Cover Map* aggiornata al 2012 e l'uso del suolo del 2008 elaborato dalla Regione Sardegna, riclassificati successivamente in base alle loro caratteristiche in 14 categorie, ognuna delle quali con 5 valori (che costituiscono il *Fuel Moisture Content*, d'ora in poi abbreviato in FMC) relativi a 1-hr, 10-hr, 100-hr (valori di *time-lag* in cui l'umidità presente nel combustibile si riduce al 63,2% del valore precedente o iniziale, in corrispondenza rispettivamente degli spessori 0-0.635 cm, 0.635-2.54 cm, 2.54-7.62 cm), *Live Herbaceous* e *Live Woods*, che rappresentano il materiale vivo, rispettivamente, erbaceo e legnoso presente in ogni categoria del *Fuel Model* (Tabella 1).

Il successivo input per l'elaborazione della mappa di pericolosità è realizzato con *WindNinja* per simulare i venti, avendo come input l'*elevation model* con una risoluzione di 50 metri, il tipo di vegetazione dominante (*trees*) e i valori relativi ai venti dominanti in caso di incendio, ovvero il maestrale (NW), il libeccio (SW) e lo scirocco (SE), con i quali si ha il maggior numero di incendi in Sardegna. In particolare il maestrale, nonostante (diversamente dal libeccio e dallo scirocco) non sia un vento caldo, ha mediamente una velocità più elevata (oltre i 25 km/h), che porta ad un rapido avanzamento del fuoco. Inoltre, raramente trasporta umidità: quindi, nei giorni di maestrale si riscontra una maggior secchezza del combustibile, questo che aumenta le probabilità di innesco.

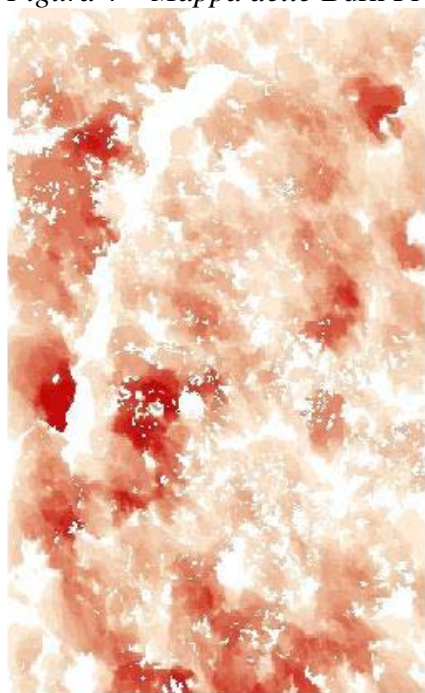
Gli output realizzati con *WindNinja* (direzione del vento espressa in angoli e velocità in m/s), insieme a *Elevation*, *Slope*, *Aspect*, *Fuel Model* e FMC sono gli input utili a *FlamMap* per elaborare la carta di pericolosità.

Gli incendi sono simulati usando il *Minimum Travel Time* (MTT) dell'algoritmo di diffusione del fuoco di Finney (2006). L'algoritmo MTT è un modello bidimensionale di crescita del fuoco e calcola la crescita e lo sviluppo dell'incendio dalla ricerca di una serie di percorsi in cui il fuoco si diffonde nel minor tempo possibile da ignizioni puntuali, lineari o poligonali (Finney, 2006). In teoria, i risultati sono identici all'*onda di espansione* usata in altri software (es.: FARSITE) con l'eccezione che tutte le condizioni climatiche e d'umidità rimangono costanti nel processo di MTT, diversamente da FARSITE dove possono variare. In questo senso *FlamMap* ha il suo vantaggio rispetto a FARSITE perché mostra la pericolosità estrema: verificata la situazione attuale con le condizioni climatiche e di umidità a livelli critici, si possono prevedere azioni di prevenzione e di lotta attiva, ricaricare gli input nel software e verificare che i cambiamenti siano effettivamente serviti alla diminuzione del pericolo di sviluppo dell'incendio, al medesimo livello di criticità. Il percorso viene simulato calcolando il tempo percorribile minimo da ogni nodo (che sarebbe l'angolo di ogni cella, che in questo caso ha una dimensione di 50mx50m) ad ognuno degli altri nodi del territorio. I percorsi sono linee rette che connettono i nodi e intersecano le celle in modo da formare segmenti con cui, dai dati di input, prevedere il comportamento del fuoco. Si produce poi una mappa che contiene la frazione del numero di incendi che si incontrano per ogni nodo (0.0 = nullo/minimo; 1.0 = massimo).

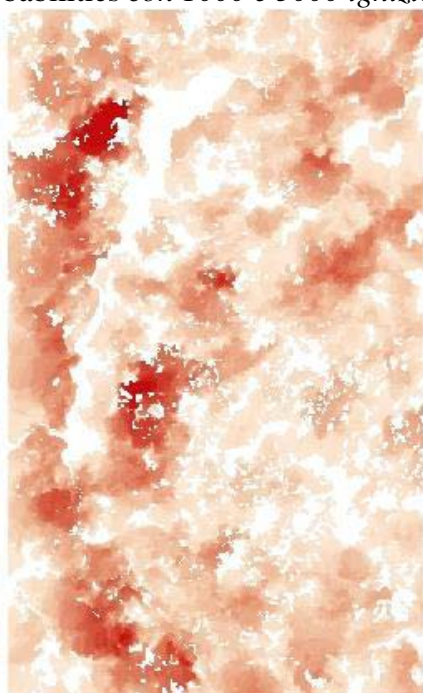
In aggiunta al calcolo dello sviluppo di un singolo fuoco, il MTT può essere usato per il calcolo della probabilità di bruciare per uno specifico numero di punti di ignizione posizionati *random* per una durata costante, come nel caso di questo lavoro, in cui sono previsti 20000 punti di ignizione *random* per una durata di 500 minuti (circa 8 ore); ovviamente il numero di punti di ignizione è da considerarsi in relazione all'area presa in esame: quindi, maggiore è l'area e più punti di ignizione sono necessari per avere una copertura omogenea e una simulazione del fenomeno più prossima alla realtà. Sono state eseguite diverse prove per avere una stima del numero più adeguato di ignizioni, da 200 a 500, 1.000, 5.000, 10.000, 15.000 e, infine, 20.000. Già tra 10.000 e 15.000 punti di ignizione la situazione non presentava tante differenze quante tra 5.000 e 10.000 (nonostante il medesimo scarto) e ancora meno tra 15.000 e 20.000, dove la situazione era quasi la stessa, permettendo una rappresentazione pressoché ottimale.

Le *burn probabilities* forniscono un metodo di valutazione dell'efficacia dei trattamenti del combustibile che rimuove l'incertezza sulle fonti di ignizione: maggiore è il numero di punti di ignizione, meno questi si distinguono perché l'incendio li "copre". La carta delle *burn probabilities* fornisce dunque una situazione pressoché reale della risposta al fuoco da parte del combustibile vegetale presente nel territorio, ovvero lo sviluppo del fuoco secondo i diversi usi del suolo.

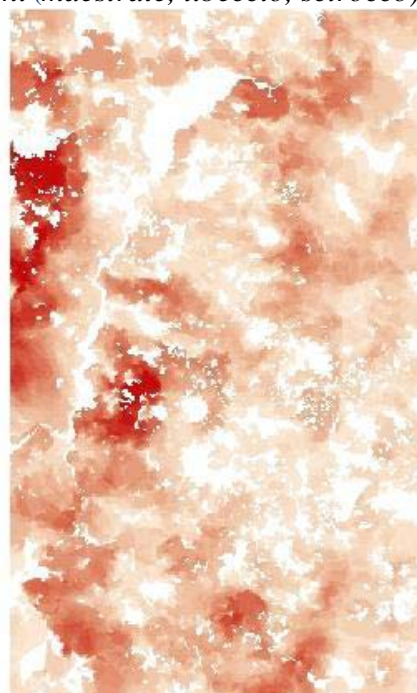
Figura 4 – Mappa delle Burn Probabilities con 1000 e 5000 ignizioni (maestrale, libeccio, scirocco)



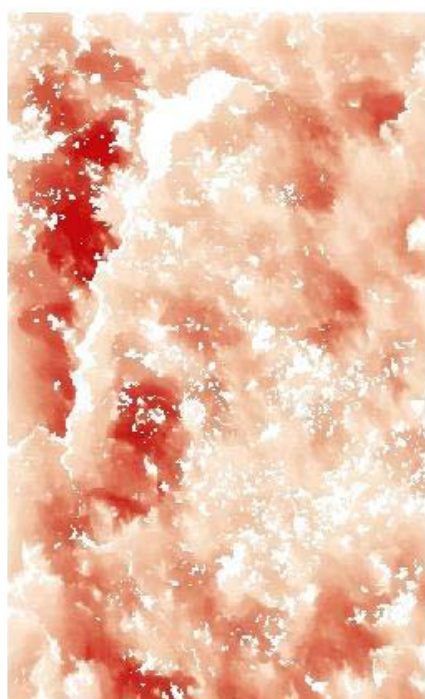
1000 Ignizioni con vento di maestrale



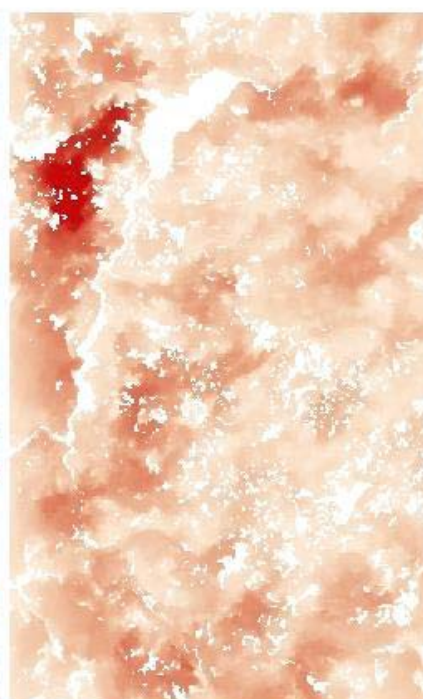
1000 Ignizioni con vento di libeccio



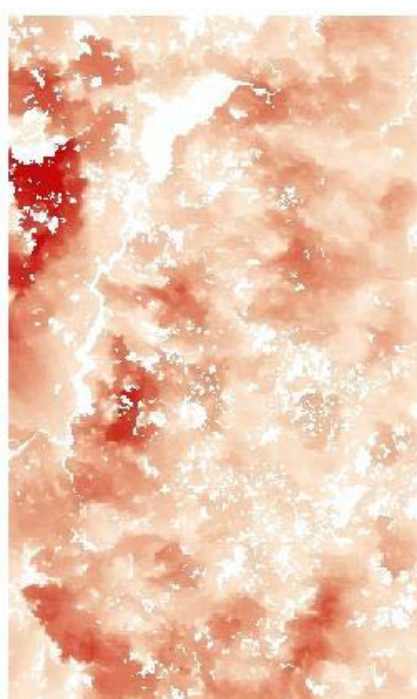
1000 Ignizioni con vento di scirocco



5000 Ignizioni con vento di maestrale



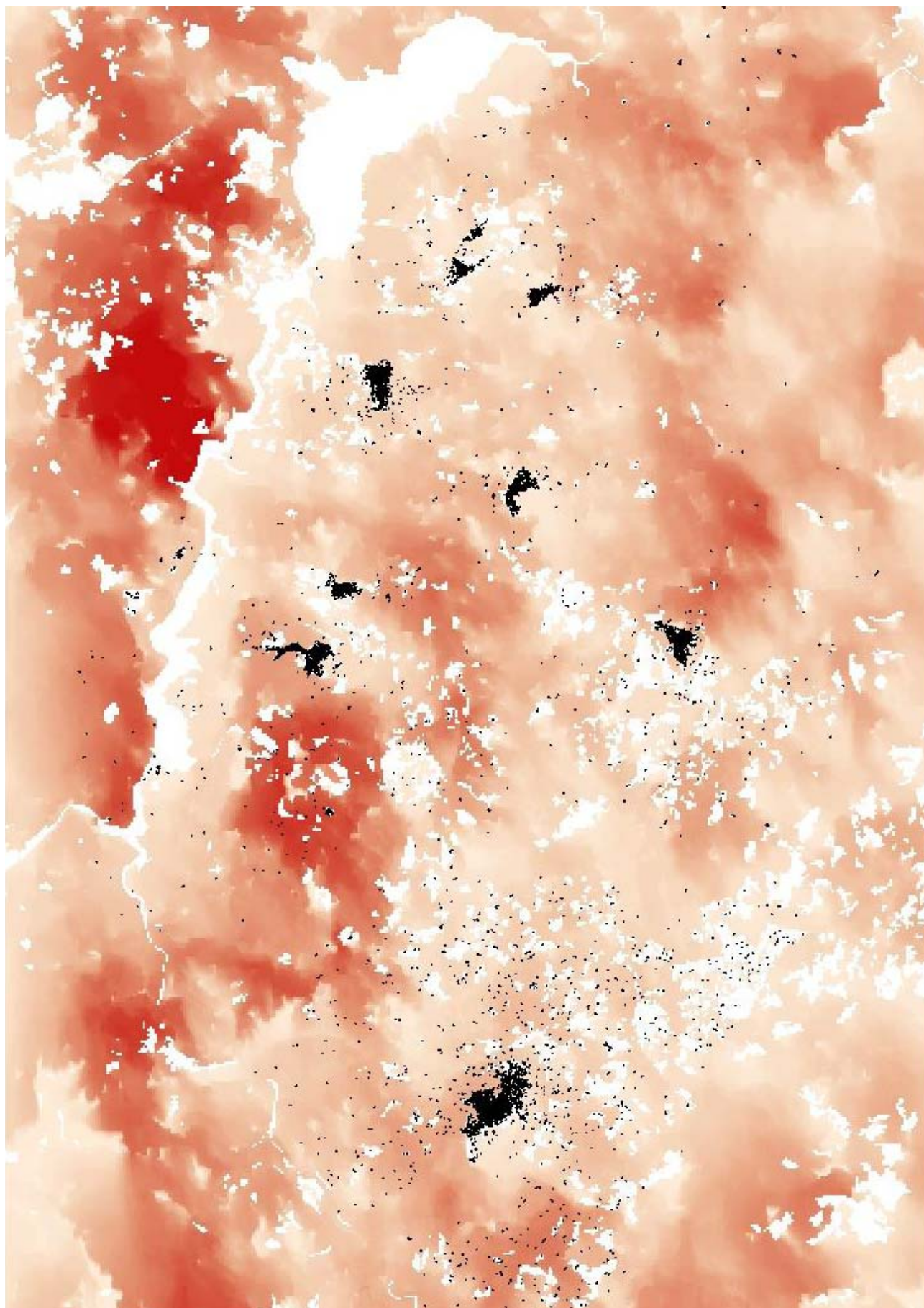
5000 Ignizioni con vento di libeccio



5000 Ignizioni con vento di scirocco

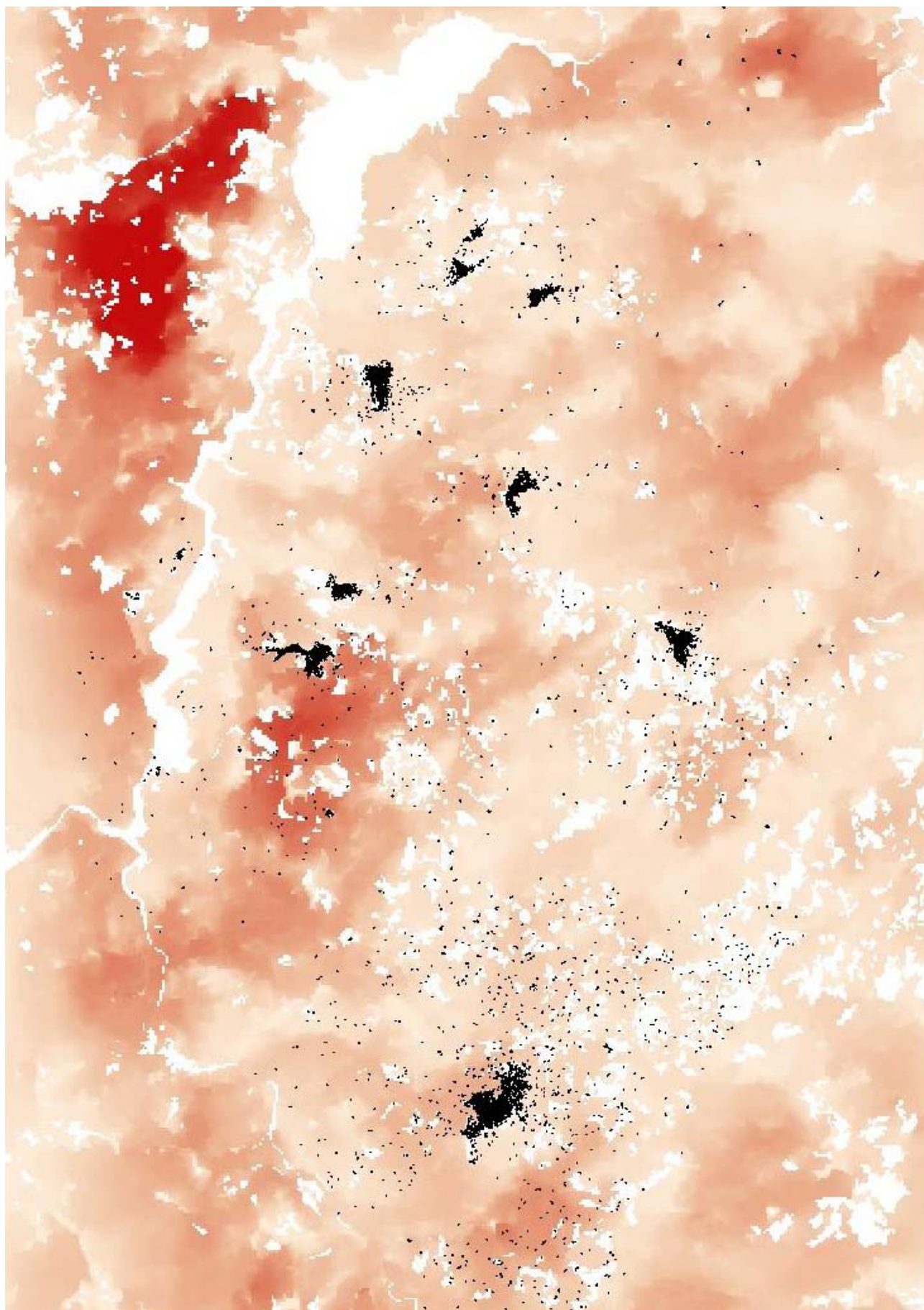
Fonte: Loi (2016)

Figura 5 – Mappa delle Burn Probabilities con vento di maestrale e 20.000 punti di ignizione



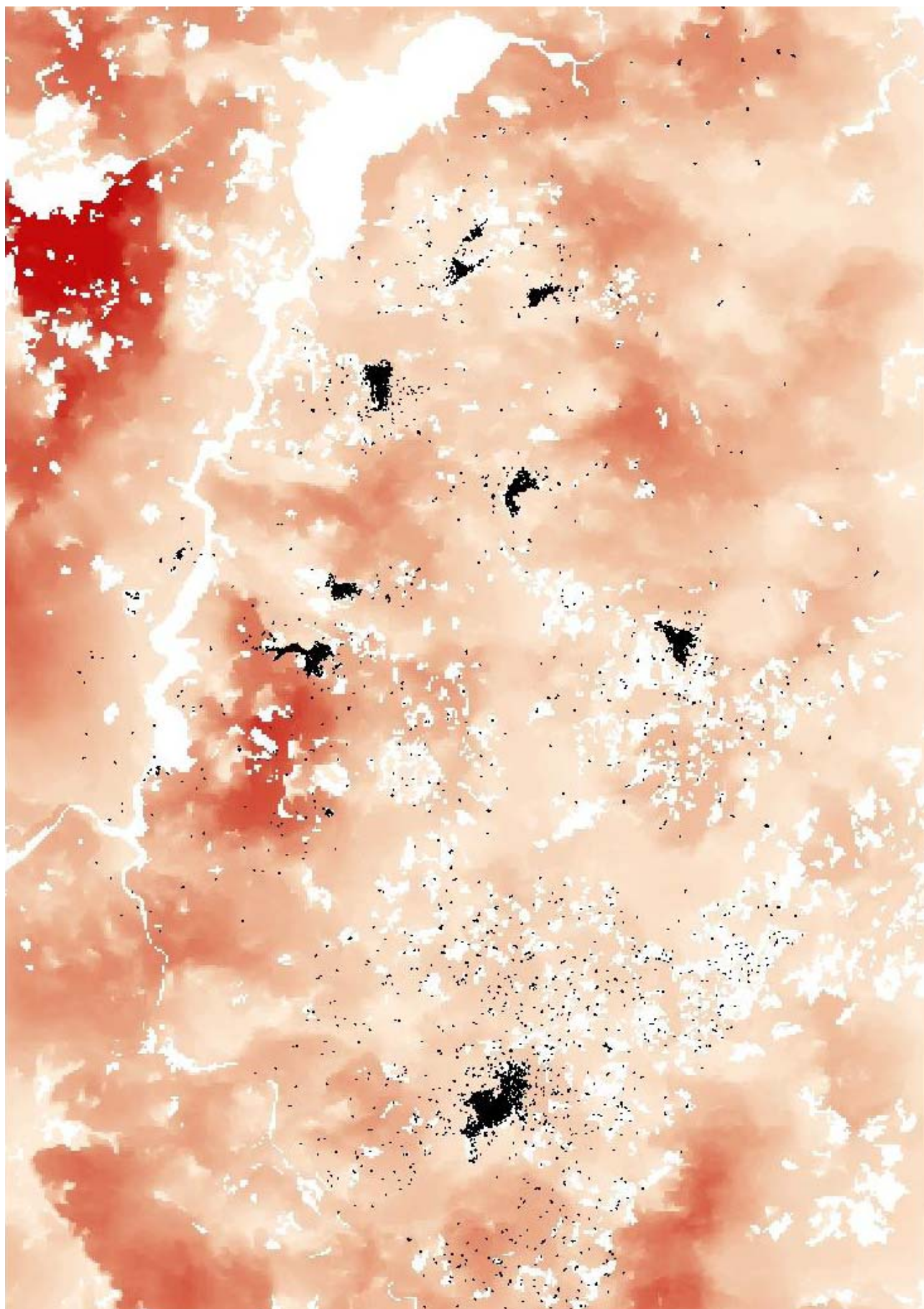
Fonte: Loi (2016)

Figura 6 – Mappa delle Burn Probabilities con vento di libeccio e 20.000 punti di ignizione



Fonte: Loi (2016)

Figura 7 – Mappa delle Burn Probabilities con vento di scirocco e 20.000 punti di ignizione



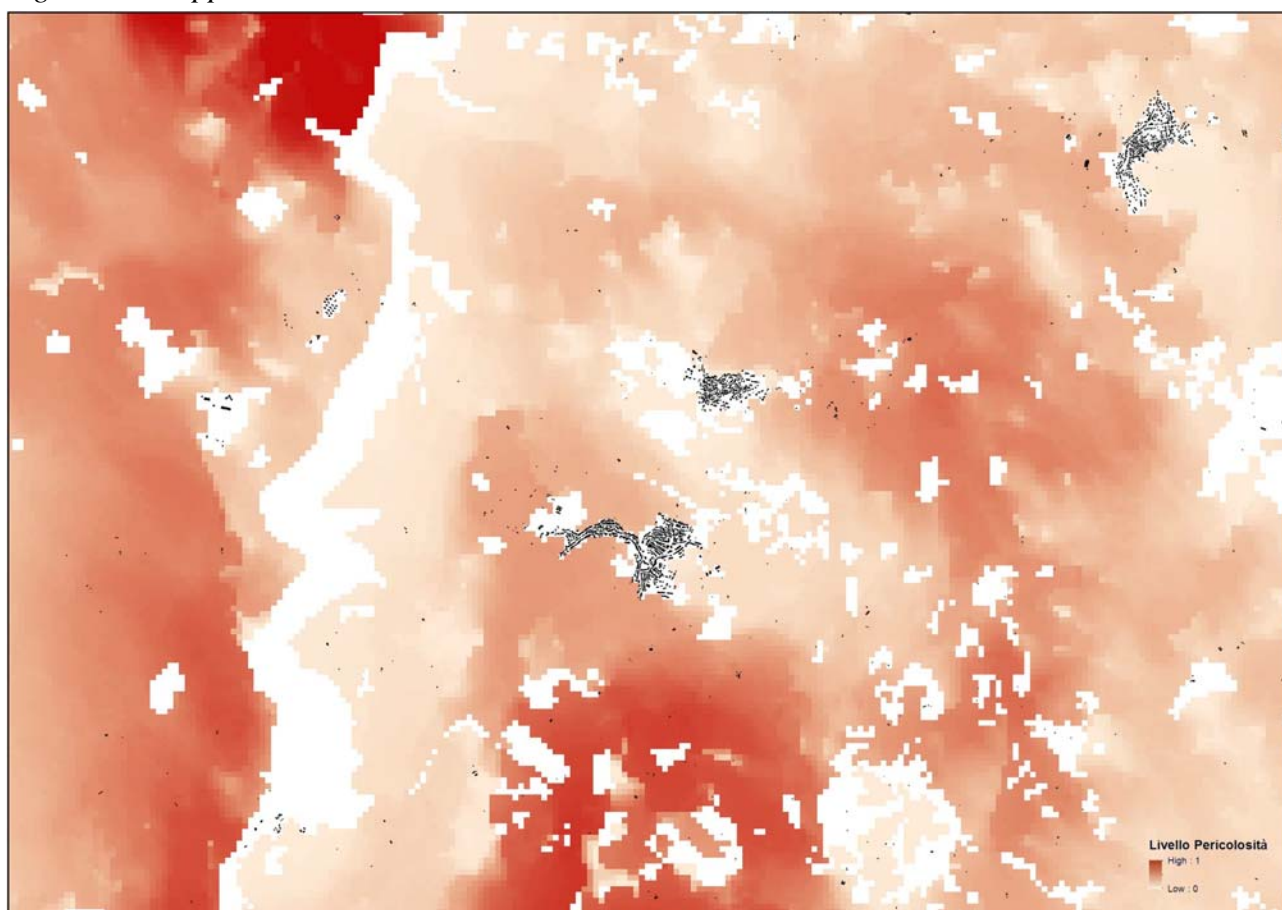
Fonte: Loi (2016)

2.3 Simulazione di un incendio allo stato attuale

Il *focus* seguente comprende il territorio comunale di Ula Tirso e parte di Ardauli, Neoneli, Busachi e Ortueri, nella regione interna del Barigadu e, marginalmente, nell'importante comparto vitivinicolo del Mandrolisai. L'area si presenta con una densità boschiva elevata e con una presenza consistente di macchia mediterranea, quindi con elevata probabilità di innesco di incendio. L'incuria e l'abbandono dei terreni agricoli e dei pascoli naturali aggiungono altri problemi in un'area che ha come unico contrasto alla propagazione di un incendio solo i versanti esposti a nord e quelli che si affacciano sul Lago Omodeo, entrambi con un tasso di umidità più elevato rispetto al resto del territorio. Il fatto che nei piccoli altipiani si praticino le attività agricole non aiuta il contrasto agli incendi per due motivi principali:

- La vegetazione ad alto fusto è rada, quindi in caso di temperature elevate l'umidità della vegetazione più bassa cala notevolmente, aumentando le probabilità di innesco;
- Sono presenti molte coltivazioni di seminativi non irrigui, come foraggio e similari, che sommate alla vegetazione naturale aumentano ulteriormente le probabilità di innesco.

Figura 8 – Mappa delle Burn Probabilities nell'area focus allo stato attuale



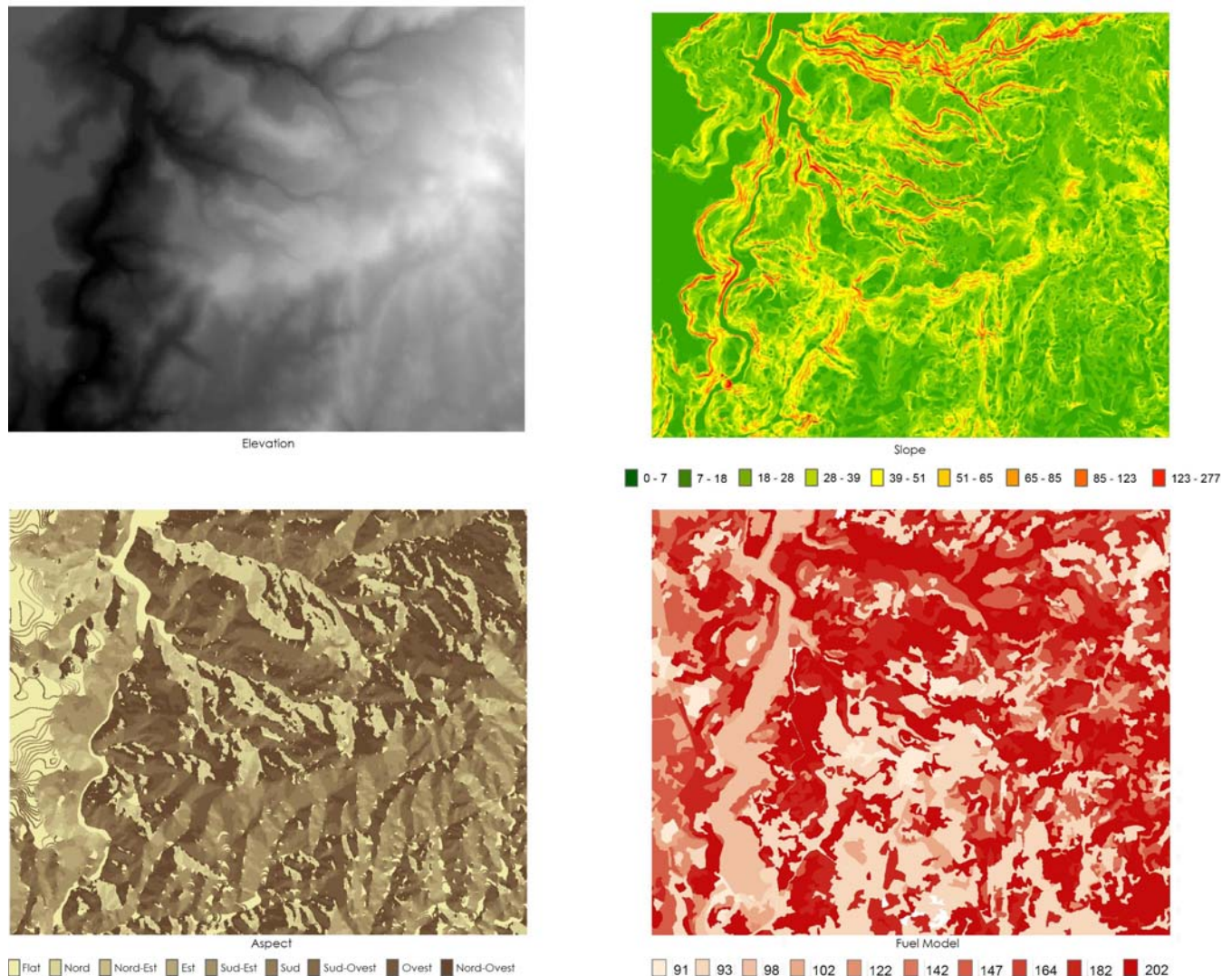
Fonte: Loi (2016)

Le coltivazioni arboree sono poco presenti e con una diffusione incapace di funzionare anche come “fascia di protezione” sia per l'urbano sia per il resto del territorio. Ancora meno presente è il pascolo naturale. Questo espone vite umane, attività agricole e ambiente ad un livello di rischio elevatissimo, soprattutto nel caso dei centri (Busachi e Ula Tirso) sono situati al limite dell'altopiano e subito a contatto con la vegetazione cresciuta incontrollata sui versanti.

L'evento simulato è caratterizzato da vento di maestrale (NW) a 9 m/s e fornisce il comportamento del fuoco in determinate situazioni. Come da ipotesi, le aree con BP (*Burn Probability*) più alta sono concentrate: nella parte occidentale sull'altopiano di Abbasanta e a sud del centro urbano di Busachi, dove il terreno è più pianeggiante, la densità forestale molto bassa e sono presenti colture foraggere e non irrigue in

generale; a est di Ula Tirso, in aree dove la densità boschiva è più o meno la stessa dei versanti sul lago Omodeo, ma il livello di umidità è nettamente inferiore, quindi la secchezza della vegetazione (soprattutto macchia) è maggiore. L'attendibilità di questa simulazione è data dal confronto con gli incendi accaduti nell'area in esame, come quello di Ghilarza nel 2013 e nel territorio di Ula nel 2011 nell'area di Besela (a est) che, per quanto area di vigneti, non ha una diffusione della vite tale da fungere anche come fascia di protezione. I valori tendenti allo zero (nella carta rappresentati con i colori più chiari) sono esclusivamente nelle aree dove è forte la presenza di coltivazioni arboree, come l'oliveto o il vigneto, ma anche nelle aree in cui sono situati gli orti a conduzione familiare. Questo dimostra come il presidio territoriale incida sullo sviluppo e sulla propagazione dell'incendio.

Figura 9 - Mappa di Elevation, Slope, Aspect e Fuel Model a valle dell'applicazione delle misure

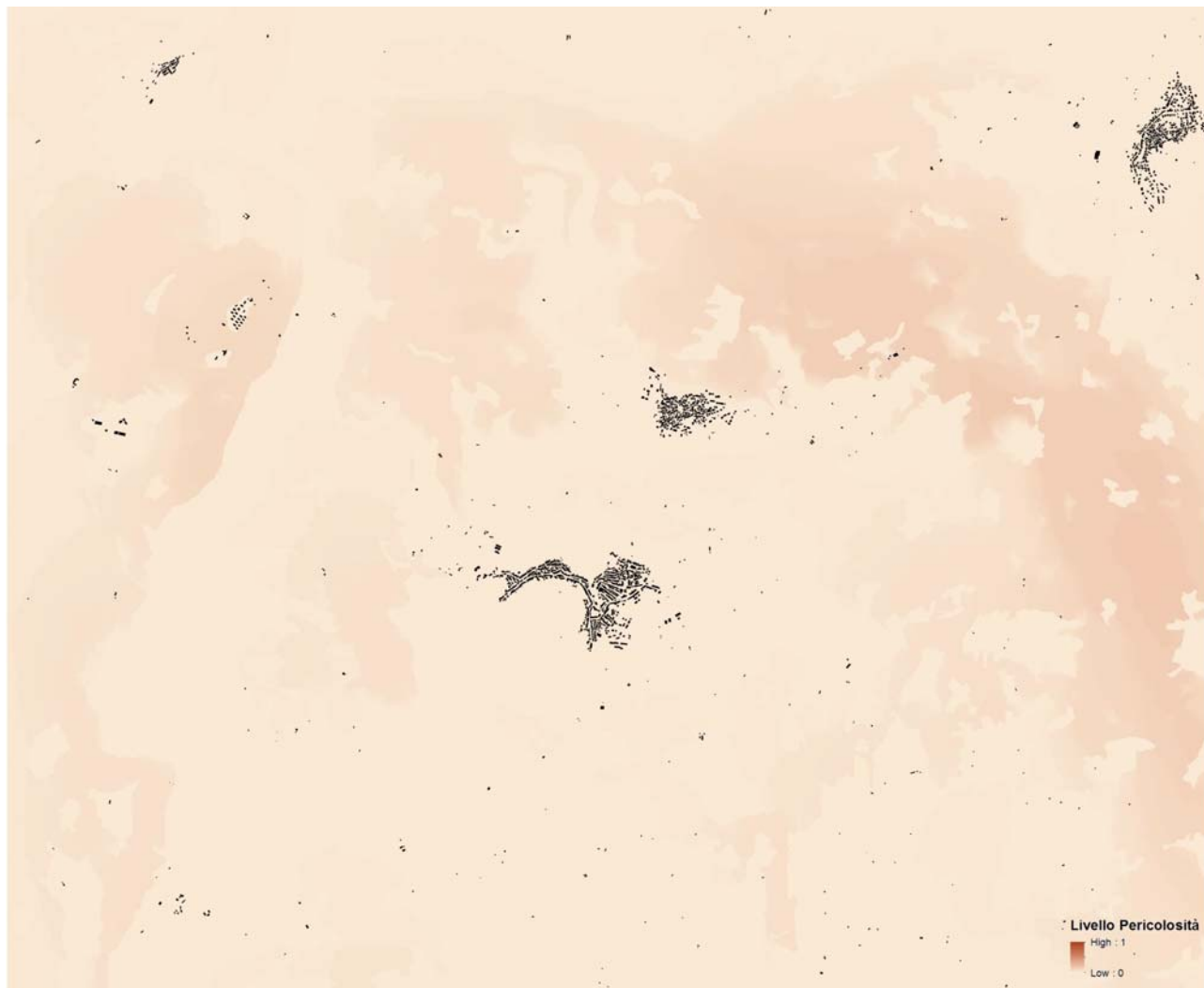


Fonte: Loi (2016)

2.4 Simulazione del pericolo di incendio a valle dell'applicazione di misure di settore

L'evento incendiario simulato a valle di alcune politiche settoriali riprende, come base, l'insieme dell'*Elevation*, dell'*Aspect*, della *Slope* e del *Fuel Model* di cui alla Figura 1. Quest'ultimo parametro, tuttavia, viene fatto variare in virtù della proposta di alcuni interventi diretti sul territorio, come una maggiore coltivazione della vite, dell'ulivo, dei frutteti, aree a pascolo naturale e altri usi che hanno maggior efficacia contro gli incendi, e che quindi modificano il *Fuel Moisture Content* utilizzato in precedenza.

Figura 10 - Mappa delle Burn Probabilities nell'area focus a valle dell'applicazione delle misure



Fonte: Loi (2016)

La mappa realizzata mostra come una maggior presenza delle attività agropastorali favorisca una significativa diminuzione di sviluppo e propagazione del fuoco: il cambio d'uso, la previsione di nuovi o recuperati vigneti, oliveti, frutteti e aree a pascolo naturale ha non solo la funzione di aumento della produzione del settore agricolo, ma anche di contrasto allo sviluppo del fuoco e dei rischi derivati: il passaggio del fuoco mina la stabilità degli strati pedologici e provoca altri rischi, quali frane e alluvioni, che mettono in pericolo qualità ambientale e vite umane. Dalla mappa si evince che, comunque, il pericolo di innesco e la propagazione di un incendio non sono del tutto annullabili, ma un'adeguata pianificazione territoriale di settore può limitarne significativamente la pericolosità. Le aree con importante presenza di macchia mediterranea a contatto diretto con sistemi forestali presentano ancora una pericolosità elevata, ma non ad un livello paragonabile alla situazione attuale e, per questo, potrebbero generare eventi probabilmente gestibili con la lotta attiva.

3. Un secondo ambito tematico di applicazione: le alluvioni urbane

La crescente frequenza di eventi meteorologici estremi soprattutto nel bacino mediterraneo, marcato da piogge convettive o a carattere torrentizio, capaci di precipitare l'intera pioggia cumulata annuale in pochi giorni, se non ore, negli anni più recenti ha indotto a concentrare sull'idrologia urbana gli studi sulla resilienza e sull'adattamento alle mutate condizioni climatiche. L'idrologia urbana, secondo la definizione di Niemczynowicz (1999), ha come compito la quantificazione dei flussi generati in ambito urbano e la loro gestione.

In un'analisi spaziale dei bacini idrografici alla scala urbana si osservano modifiche nella localizzazione di aree generatrici del ruscellamento (*run-off*), a causa dell'impermeabilizzazione dei suoli o dell'edificazione, che modificano le condizioni di scorrimento sotterraneo e superficiale. Lo studio del ruscellamento superficiale urbano attraversa l'analisi e il controllo e la quantificazione dei flussi, i tempi necessari per la generazione del ruscellamento superficiale, il calcolo dei ridotti tempi di corrivazione dell'acqua all'interno del bacino e nelle aree urbane e la qualità chimica del flusso. L'analisi spaziale sottolinea che, se in precedenza l'approccio era eminentemente ingegneristico, attualmente l'integrazione con le discipline risponde alle necessità di affrontare le questioni specifiche del rapporto tra il processo naturale e la presenza dell'insediamento urbano, avvalendosi non solo dell'idrodinamica ma anche di ecologia e scienze ambientali, urbanistica e sociologia (Fletcher *et al.*, 2015), per perseguire obiettivi principali (Andrieu e Chocat, 2004; Chocat *et al.*, 2004) di igiene urbana e pubblica, protezione ambientale e dalle inondazioni, di cui solo l'ultimo sarà trattato nel presente paragrafo.

3.1 Un ambito geografico di applicazione: Alghero e la Pietraia

Se si considera il bacino idrografico come unità territoriale minima e il *run-off* come la quantità di acqua precipitata e non infiltrata nel sottosuolo, che defluisce in superficie fino al raggiungimento di un corpo idrico ricettore (fiume, lago, laguna, mare), i territori urbani di *waterfront* costituiscono uno *hot spot* dell'idrologia: nei contesti urbani, infatti, il *run-off* trova condizioni favorevoli per la sua formazione e il suo accrescimento. L'esempio della città di Alghero evidenzia come la definizione della struttura urbana, l'organizzazione spaziale e i materiali utilizzati abbiano condotto all'attuale configurazione e ad alcuni episodi problematici.

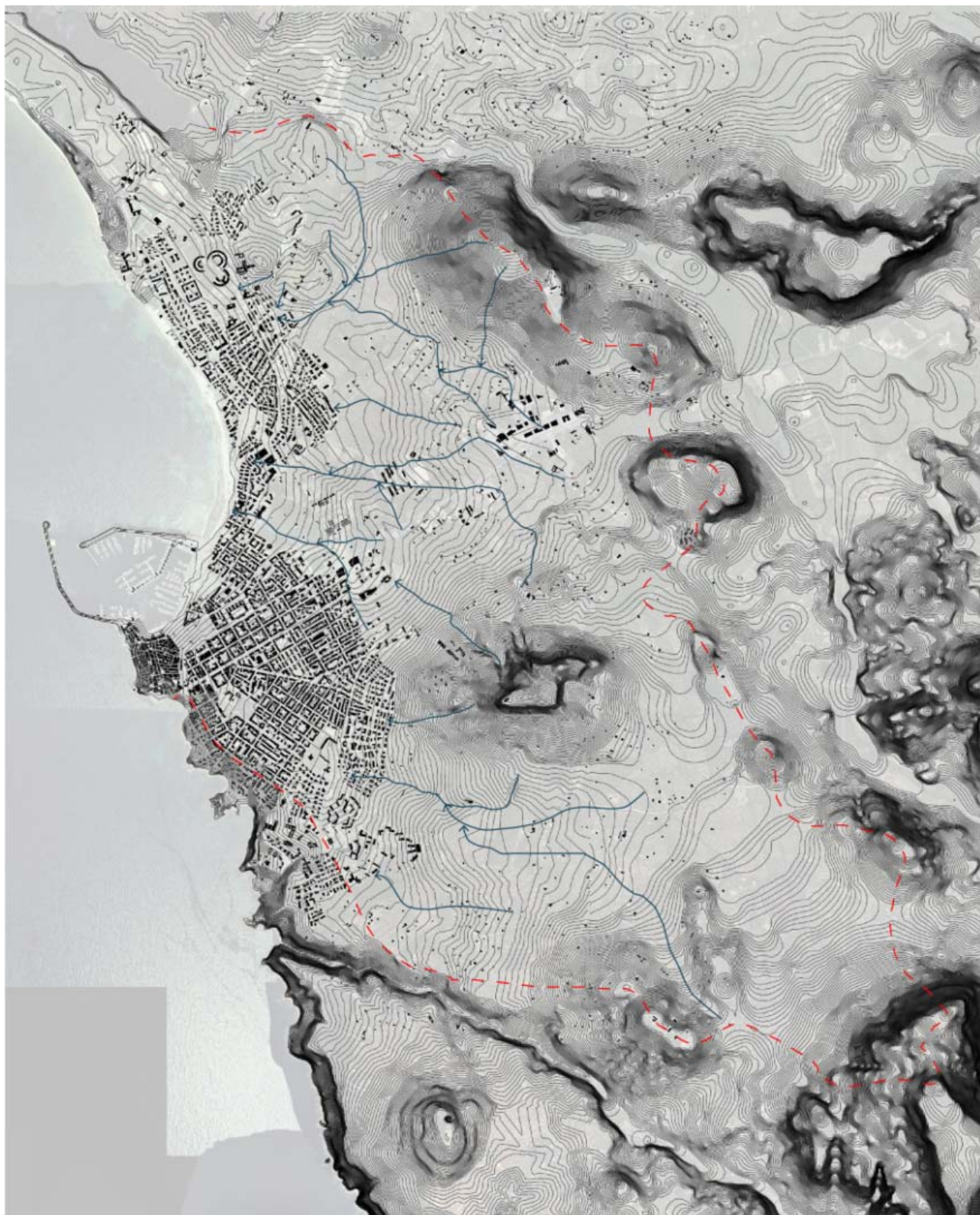
Lo studio del caso avviene a due scale, di bacino e di area urbana, che mostrano le diverse relazioni e dinamiche di ruscellamento superficiale. Il bacino idrografico algherese è caratterizzato da un reticolo idrografico quasi assente, caratterizzato da un'idrologia "temporanea" solo durante gli eventi meteorici. Al suo interno è stato individuato un sotto-bacino urbano, comprendente l'intera città, che descrive la relazione con le acque in ruscellamento (Fig. 11). L'orografia è infatti costituita da una struttura di aree debolmente rialzate, con acclività discendente verso il mare, per cui i deflussi dovuti al ruscellamento superficiale si concentrano per effetto delle pendenze nella città: l'insediamento - con le sue espansioni passate e recenti - occupa le sezioni di uscita del sotto-bacino individuato. Questa posizione può essere di ostacolo al naturale deflusso delle acque, in particolare nelle espansioni fuori dalle mura della città storica. Il tessuto edilizio contemporaneo si sviluppa infatti lungo le linee di compluvio occupate, in precedenza, da orti e da giardini in cui si concentravano i volumi d'acqua allontanati dalla città storica. La maglia ortogonale dell'espansione ottocentesca è disposta lungo le linee di deflusso naturale, definendo una rete idrografica locale in cui vengono convogliati i volumi derivanti dalla maglia secondaria, che rappresenta gli affluenti del deflusso. Le antiche aree di compluvio possono essere individuate anche oggi all'interno del tessuto urbano in corrispondenza di alcuni assi principali (Fig. 12). Gli isolati risultanti, con i loro fronti, sono di ostacolo al ruscellamento: nelle espansioni recenti come la Pietraia, infatti, il deflusso è in parte modificato da isolati allungati lungo la direttrice ortogonale alle linee di deflusso, comportando di conseguenza un maggiore accumulo di acque in superficie.

3.2 Metodologia e mappatura dell'idrologia urbana superficiale

La rete idrografica urbana suddivide il quartiere in due micro-bacini, separati da una linea di displuvio, determinata dai deflussi generati sulla rete stradale, che attraversa gli isolati e arriva fino al mare (Figura 13): il primo micro-bacino, 1A, considera la porzione di quartiere più esterna dove si concentrano i presidi ospedalieri e le istituzioni scolastiche; il secondo micro-bacino, 1B, racchiude l'area più prossima al resto della città. I due micro-bacini si presentano con caratteristiche opposte: il primo è caratterizzato da un'estensione superficiale minore, con un tessuto urbano denso ed una densità edilizia maggiore; il secondo si caratterizza per un'estensione maggiore, che concentra la maggior parte delle superfici permeabili del

quartiere, con un tessuto urbano meno denso. Di ogni sotto-bacino sono state poi analizzate le singole superfici che ne influenzano il *run-off* (Tab. 2).

Figura 11 – Alghero: individuazione del bacino idrografico e del sotto-bacino urbano



Fonte: Tedde (2017)

Figura 12 – Alghero: reticolo idrografico superficiale nel sotto-bacino urbano



Fonte: Tedde (2017)

Figura 13 – Ripartizione del micro-bacino urbano del quartiere la Pietraia in due sotto-bacini



Fonte: Tedde (2017)

Tabella 2 - Classificazione delle superfici nei micro-bacini

TIPOLOGIA DELLE SUPERFICI DEL MICRO-BACINO URBANO	
IMPERMEABILI	- Edificato
	- Volumi accessori (cavedi, locali caldaie, locali pompe,...)
	- Superfici impermeabili (parcheggi, corti private, strade private,...)
	- Aree per la circolazione pedonale (marciapiedi,...)
	- Aree per la circolazione veicolare
	- Viabilità secondaria
PERMEABILI	- Aree verdi pubbliche
	- Giardini e cortili privati
	- Colture agricole
	- Pascoli ed incolti

Fonte: Tedde (2017)

La capacità di assorbire o far ruscellare l'acqua in superficie può essere calcolata con il coefficiente di deflusso attribuita a Mulvaney (Chocat *et al.*, 2004), in cui A è l'area esposta alle precipitazioni, I la quota in mm di acqua ivi precipitata e C_R il coefficiente di riduzione, considera fattori come l'evapotraspirazione o l'infiltrazione nel suolo intercettata nelle fessurazioni, nelle pozze naturali e dalla copertura vegetale (Chocat *et al.*, 2004; Guang *et al.*, 2015):

$$C_D (\text{coefficiente di deflusso}) = A \times I \times C_R$$

da cui viene sviluppato un modello matematico che evidenzia come, all'aumentare delle superfici permeabili, ci sia una riduzione del deflusso superficiale ed un aumento dell'infiltrazione dell'acqua nei "pori urbani".

Tabella 3 – Esempio di valutazione della riduzione dei deflussi nel sotto-bacino 1a

METODO VALUTATIVO DEL RAPPORTO DI PIOGGIA_Scenario 1					
Rapporto di pioggia = $\frac{(P_{\text{residua}})}{(P_{\text{totale}})}$					
Condizioni del contesto					
Precipitazioni medie (mm)	30	30	30	30	30
Tipo di suolo	A	A	A	A	A
Tipologia insediativa di Alghero					
Bacino di riferimento 1A: tessuto misto (edificio singolo su lotto o edificio il linea)					
RAPPORTO DI SUPERFICIE % SI/SF	60,26	57,66	55,06	52,44	49,83
ESTENSIONE TOTALE BACINO 1A (MQ)	706.680,00	706.680,00	706.680,00	706.680,00	706.680,00
Estensione superficie impermeabile (mq)	425.870,00	407.437,50	389.005,00	370.572,50	352.140,00
Edificato	109.280,00	109.280,00	109.280,00	109.280,00	109.280,00
Volumi accessori (cavedi, locali caldaie, locali pompe,...)	19.480,00	19.480,00	19.480,00	19.480,00	19.480,00
Superfici impermeabili (parcheggi privati, strade interne,...)	73.790,00	55.297,50	36.865,00	18.432,50	0,00
Circolazione pedonale (marciapiedi,...)	4.610,00	4.610,00	4.610,00	4.610,00	4.610,00
Strade	172.440,00	172.440,00	172.440,00	172.440,00	172.440,00
Viabilità secondaria	46.330,00	46.330,00	46.330,00	46.330,00	46.330,00
Estensione superficie permeabile (mq)	280.810,00	299.242,50	317.675,00	336.107,50	354.540,00
Aree verdi	22.060,00	22.060,00	22.060,00	22.060,00	22.060,00
Giardini	95.330,00	95.330,00	95.330,00	95.330,00	95.330,00
Colture agricole	11.000,00	11.000,00	11.000,00	11.000,00	11.000,00
Pascoli ed incolti (senza destinazione d'uso)	152.420,00	152.420,00	152.420,00	152.420,00	152.420,00
IN TIPOLOGIA INSEDIATIVA (Numero di Curva)	77,86	72,59	71,83	69,46	67,98
La superfici impermeabili (perdite iniziali)	7,59	9,59	10,36	11,17	12,01
S Tipologia insediativa (Saturazione massima)	75,87	95,90	103,60	111,66	120,09
Pioggia residua (mc)	3.611,96	2.531,20	2.211,65	1.920,96	1.656,53
Pioggia totale (mc)	21.200,40	21.200,40	21.200,40	21.200,40	21.200,40
RAPPORTO DI PORTATA	0,17	0,12	0,10	0,09	0,08

Fonte: Tedde (2017)

Le azioni si concentrano su una progressiva conversione in superfici permeabili delle superfici impermeabili, pubbliche e private: si definiscono alcune soluzioni di *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS), sviluppando possibili scenari di riconversione delle superfici. Si procede poi alla definizione di un rapporto-strumento prescrittivo, attraverso cui regolare il processo di conversione delle superfici. Lo strumento proposto è utilizzabile in contesti di nuova edificazione e in processi di riqualificazione di porzioni di tessuto urbano. Per le nuove edificazioni lo strumento si considera come un “costo di impermeabilizzazione vincolante”, affinché si abbia la possibilità di edificare. Il vincolo differisce dalle norme degli standard urbanistici in quanto la superficie destinata ad area permeabile, non obbligatoriamente a verde, è vincolata al sito, o porzione di tessuto, poiché definisce *in primis* un elemento costituente del lotto e della trasformazione urbana ivi prevista.

Nel caso applicativo proposto, il rapporto di pioggia è utilizzato in un tessuto urbano già definito diventando elemento di supporto nel processo di riqualificazione urbana e valutativo dell'efficacia dello stesso processo:

$$\frac{(P_{residua})}{(P_{totale})}$$

La costruzione del modello parte dalla considerazione del rapporto tra le superfici permeabili e impermeabili, oggi diffuso nella normativa urbanistica di numerose regioni italiane:

$$\text{Rapporto di permeabilità} = \frac{\text{Superfici impermeabili}}{\text{Superfici permeabili}}$$

Tuttavia, esso non tiene conto delle caratteristiche qualitative dei suoli e della loro copertura vegetale, che richiede un ulteriore approfondimento. Lo strumento qui proposto ha alla base il modello del *Curve Number* (CN) sviluppato dal *Soil Conservation Service* (SCS) del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti per quantificare il ruscellamento superficiale, atto a definire un nuovo ordine di rapporti tra superfici impermeabili e permeabili, considerato come uno dei più importanti modelli non deterministici utilizzabili per la stima dei deflussi superficiali (Mishra e Singh, 2003).

Il metodo del Numero di Curva rivela una caratteristica delle condizioni locali, considerando la frazione totale di pioggia (P) secondo i luoghi in cui viene applicato, e permette di determinare il deflusso diretto o pioggia efficace (P_e), cioè la frazione della pioggia totale (P) che contribuisce direttamente alla formazione dell'evento di piena. La pioggia efficace (P_e) viene ottenuta attraverso la formula:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)}$$

La componente I_a indica le perdite iniziali di alcune quote della pioggia totale che precipita sul suolo, che con l'apparato fogliare presente intercetta quote di acqua, che non contribuiscono ai volumi in ruscellamento. Dagli studi applicativi e dalla letteratura si registra che per la realtà italiana le perdite iniziali sono quantificabili in un decimo della capacità idrica massima del suolo o del volume specifico di saturazione (S). Al denominatore si osserva come la pioggia totale sia influenzata dalla capacità di infiltrazione massima del suolo prima che venga trasformata in deflusso superficiale. L'elemento che identifica la valutazione quantitativa di volumi che ruscellano in superficie è il valore S con le sue componenti, tra cui il valore del Numero di Curva (CN):

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Il Numero di Curva valuta la capacità di assorbimento dei singoli materiali, che permette di quantificarne il deflusso. Esso assume, a livello teorico, valori compresi tra 0 e 100. Casi applicativi in letteratura e norme DIN, FLL, Scala Frühling esprime valori compresi in un *range* di ristrette possibilità. Il valore minimo che il CN può assumere è 40 per le superfici permeabili, mentre per superfici impermeabili il valore è 98, che corrisponde a totale o grandissima parte di scorrimento superficiale. Secondo i valori elaborati dal *Handbook of Hydrology* (Maidment, 1992), è possibile individuare specifici valori per differenti tipologie di uso del suolo, che consentono dunque un'approssimativa quantificazione degli interventi necessari per la mitigazione del *run-off*.

Tabella 4 – Scenario 2 di riduzione dei deflussi nel sotto-bacino 1a: interventi sulla viabilità

METODO VALUTATIVO DEL RAPPORTO DI PIOGGIA_Scenario 2

$\text{Rapporto di pioggia} = \frac{(P_{\text{residua}})}{(P_{\text{totale}})}$

Condizioni del contesto

Precipitazioni medie (mm) 30 30 30 30 30

Tipo di suolo A A A A A

Tipologia insediativa di Alghero Bacino di riferimento 1A: tessuto misto (edificio singolo su lotto o edificio in linea)

RAPPORTO DI SUPERFICIE % SI/SF	60,26	52,36	44,46	36,56	28,65
ESTENSIONE TOTALE BACINO 1A (MQ)	706.680,00	706.680,00	706.680,00	706.680,00	706.680,00
Estensione superficie impermeabile (mq)	425.870,00	370.025,00	314.180,00	258.335,00	202.490,00
Edificato	109.280,00	109.280,00	109.280,00	109.280,00	109.280,00
Volume accessori (cavedi, locali caldaie, locali pompe...)	19.480,00	19.480,00	19.480,00	19.480,00	19.480,00
Superfici impermeabili (parcheggi privati, strade interne,...)	73.730,00	73.730,00	73.730,00	73.730,00	73.730,00
Circolazione pedonale (marciapiedi,...)	4.610,00	3.457,50	2.305,00	1.152,50	0,00
Strade	172.440,00	129.330,00	86.220,00	43.110,00	0,00
Viabilità secondaria	46.330,00	34.747,50	23.165,00	11.582,50	0,00
Estensione superficie permeabile (mq)	280.810,00	336.655,00	392.500,00	448.345,00	504.190,00
Aree verdi	22.060,00	22.060,00	22.060,00	22.060,00	22.060,00
Giardini	95.330,00	95.330,00	95.330,00	95.330,00	95.330,00
Culture agricole	11.000,00	11.000,00	11.000,00	11.000,00	11.000,00
Pascoli ed incolti (senza destinazione d'uso)	152.420,00	152.420,00	152.420,00	152.420,00	152.420,00
CN TIPOLOGIA INSEDIATIVA (Numero di Curva)	77,00	69,42	64,68	59,93	55,19
Ia superfici impermeabili (perdite iniziali)	7,59	11,19	13,87	16,98	20,62
S Tipologia insediativa (Saturazione massima)	75,87	111,91	138,73	169,80	206,21
Pioggia residua (mc)	3.611,96	1.912,68	1.186,82	655,25	288,34
Pioggia totale (mc)	21.200,40	21.200,40	21.200,40	21.200,40	21.200,40
RAPPORTO DI PORTATA	0,17	0,09	0,06	0,03	0,01

Fonte: Tedde (2017)

Tabella 5 – Scenario 3: riduzione deflussi nel sotto-bacino 1a: interventi su viabilità e parcheggi

METODO VALUTATIVO DEL RAPPORTO DI PIOGGIA_Scenario 3

$\text{Rapporto di pioggia} = \frac{(P_{\text{residua}})}{(P_{\text{totale}})}$

Condizioni del contesto

Precipitazioni medie (mm) 30 30 30 30 30

Tipo di suolo A A A A A

Tipologia insediativa di Alghero Bacino di riferimento 1A: tessuto misto (edificio singolo su lotto o edificio in linea)

RAPPORTO DI SUPERFICIE % SI/SF	60,26	49,75	39,24	28,73	18,22
ESTENSIONE TOTALE BACINO 1A (MQ)	706.680,00	706.680,00	706.680,00	706.680,00	706.680,00
Estensione superficie impermeabile (mq)	425.870,00	351.992,50	277.315,00	203.037,50	128.760,00
Edificato	109.280,00	109.280,00	109.280,00	109.280,00	109.280,00
Volume accessori (cavedi, locali caldaie, locali pompe...)	19.480,00	19.480,00	19.480,00	19.480,00	19.480,00
Superfici impermeabili (parcheggi privati, strade interne,...)	73.730,00	55.297,50	36.865,00	18.432,50	0,00
Circolazione pedonale (marciapiedi,...)	4.610,00	3.457,50	2.305,00	1.152,50	0,00
Strade	172.440,00	129.330,00	86.220,00	43.110,00	0,00
Viabilità secondaria	46.330,00	34.747,50	23.165,00	11.582,50	0,00
Estensione superficie permeabile (mq)	280.810,00	355.087,50	429.365,00	503.642,50	577.920,00
Aree verdi	22.060,00	22.060,00	22.060,00	22.060,00	22.060,00
Giardini	95.330,00	95.330,00	95.330,00	95.330,00	95.330,00
Culture agricole	11.000,00	11.000,00	11.000,00	11.000,00	11.000,00
Pascoli ed incolti (senza destinazione d'uso)	152.420,00	152.420,00	152.420,00	152.420,00	152.420,00
CN TIPOLOGIA INSEDIATIVA (Numero di Curva)	77,00	67,85	61,85	55,34	48,95
Ia superfici impermeabili (perdite iniziali)	7,59	12,03	15,87	20,58	26,51
S Tipologia insediativa (Saturazione massima)	75,87	120,35	158,71	205,82	265,09
Pioggia residua (mc)	3.611,96	1.649,06	816,29	291,20	32,08
Pioggia totale (mc)	21.200,40	21.200,40	21.200,40	21.200,40	21.200,40
RAPPORTO DI PORTATA	0,17	0,08	0,04	0,01	0,00

Fonte: Tedde (2017)

Il confronto permette di valutare l'efficacia di interventi diretti solo alle aree parcheggio e private, alla sola viabilità pedonale e carrabile o all'insieme dei diversi tipi di superficie: emerge che la distribuzione degli interventi lungo alcune aste viarie si rivela più efficace degli interventi nelle aree di sosta concentrata e negli spazi privati di pertinenza, il che può costituire una guida per elaborare una gerarchia di priorità e la programmazione degli interventi.

La differenza sostanziale tra l'indicatore proposto e i rapporti di copertura e di permeabilità è che solo il primo tiene effettivamente in conto la qualità delle superfici costituenti il tessuto urbano. Il modello, che tiene conto di due fattori principali (l'acqua che ruscella in superficie durante l'evento e la quantità di pioggia totale precipitata) è stato sviluppato per dimostrare, in termini analitici, come sia possibile agire attraverso *Sustainable Urban Drainage Systems* nella riduzione dei deflussi superficiali e valutarne l'efficacia comparando articolazioni progettuali differenti, nello spazio e nel tempo.

4. Alcune considerazioni

Per una corretta programmazione, una valutazione degli scenari futuri e delle soluzioni progettuali e programmatiche all'interno della gestione del rischio è ritenuta uno strumento d'analisi fondamentale, in particolar modo negli ambiti urbani e in quelli in cui le vite umane costituiscono il principale elemento esposto (Rehak *et al.*, 2011).

I modelli qui proposti muovono, con evidenza, dal *research by design* (Nijhuis *et al.*, 2017), un approccio flessibile per lavorare in situazioni d'imprevedibilità, che permette di acquisire conoscenze teoriche utili ad implementare il *framework* e interpretare i paesaggi come oggetti di ricerca interdisciplinare e multiscalare, facilitando il progetto e scale di rappresentazione cartografica e di pensiero differenti. Lavorare con l'incertezza delle previsioni future, in particolar modo quelle legate agli effetti del cambiamento climatico, richiede un approccio che prenda in considerazione le diverse dinamiche ambientali in una visione ecologica: costruire e valutare scenari futuri di adattamento fanno del *research by design* uno strumento di lavoro rispetto ai temi che oggi affronta la pianificazione.

Bibliografia

- Andrieu H., Chocat B. (2004), "Preface. Introduction to the special issue on urban hydrology", *Journal of Hydrology*, n. 299, pp. 163-165.
- Arca B., Pellizzaro G., Duce P., Salis M., Bacciu V., Spano D., Ager A., Finney M.A., Scoccimarro E. (2012), "Potential changes in fire probability and severity under climate change scenarios in Mediterranean areas", in Spano D., Bacciu V., Salis M., Sirca C. (eds.), (2012), *Modelling Fire Behaviour and Risk*, StampaColor, Muros (SS).
- Bacciu V. (2008), *Maquis Fuel Model development to support spatially-explicit fire modeling applications*, Tesi di Dottorato in Agrometeorologia ed Ecofisiologia dei Sistemi Agrari Forestali, Università degli Studi di Sassari.
- Baker E.J. (1977), *Land Use Management and Regulation in Hazardous Areas: A Research Assessment*. Institute of Behavioral Science, Colorado University, Boulder.
- Bedia J., Herrera S., Camia A., Moreno J.M., Gutierrez J.M. (2014), "Forest fire danger projections in the Mediterranean using ENSEMBLES regional climate change scenarios", *Climate Change*, vol. 122(1-2), pp. 185-199.
- Birocchi I. (1982), *Per la storia della proprietà perfetta in Sardegna. Provvedimenti normativi, orientamenti di governo e ruolo delle forze sociali dal 1839 al 1851*, Giuffrè, Milano.
- Blecic I., Cecchini A. (2016), *Verso una pianificazione antifragile. Come pensare al futuro senza prevederlo*, Angeli, Milano.
- Brears R.C. (2018), *Blue and Green Cities*. Palgrave Macmillan, London.
- Bridges J. (1983), *Greenbelt Feasibility for Fire and Flood Loss Reduction in the San Bernardino Foothills*, M.A. thesis, University of California, Riverside.
- Burton I., Kates R. W., White G. F. (1978), *The Environment as Hazard*, Oxford U. P., Cambridge-MA.
- Chocat B., Ashley R., Marsalek J., Matos M.R., Rauch W., Schilling W., Urbonas B. (2004), *Urban Drainage – Out-of-sight-out-of-mind?*, National Water Research Institute, Burlington.
- Dimitrakopoulos A., Vlahou M., Anagnostopoulou Ch., Mitsopoulos I., (2011), "Impact of drought on wildland fires in Greece; Implications of climatic change?" *Climate Change*, vol. 109(3-4), pp 331–347.
- Finney M.A. (2006), "An overview of FlamMap fire modeling capabilities", in Andrews P.L., Butler B.W. (Eds.), *Fuels Management – How to Measure Success: Conference Proceedings*, USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO, pp. 213–220.
- Fletcher T. D., Shuster W., Hunt W. F., Ashley R., Butler D., Arthur S., Trowsdale S., Barraud S., Semadeni- Davies A., Bertrand-Krajewski J., Mikkelsen P.S., Rivard G., Uhl M., Dagenais D., Viklander M. (2015), "SUDDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage", *Urban Water Journal*, vol. 12 (7), pp. 525-542.
- Giannakopoulos C., Le Sager P., Bindi M., Moriondo M., Kostopoulou E., Goodess C., (2009), "Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global warming", *Global Planetary Change*, vol. 68(3), pp. 209-224.
- Guang M., Sillanpaa N., Koivusalo H. (2015), "Modelling and assessment of hydrological changes in a developing urban catchment", *Hydrological Processes*, n. 29, pp. 2880-2894.
- Henrie M. (2008), "The Green Infrastructure Action Strategy", *Water Res. Impact*, vol. 10(2), pp. 17-19.

- Hewitt K., Burton I. (1971), *The Hazardousness of a Place: A Regional Ecology of Damaging Events*, University of Toronto.
- Holling C. (1973), "Resilience and stability of ecological system", *Annual Review of Ecology and Systematics*, n. 4, pp. 1-23.
- Keane R., Frescino T., Reeves M., Long J., (2006), "Mapping wildland fuels across large regions for the LANDFIRE prototype project", in Rollins M., Frame C. (Eds.), *The LANDFIRE prototype project: nationally consistent and locally relevant geospatial data for wildland fire management*. USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, RMRS-GTR-175 (Ogden, UT)
- Koutsias N., Xanthopoulos G., Founda D., Xystrakis F., Nioti F., Pleniou M., Mallinis G., Arianoutsou M., (2013), "On the relationships between forest fires and weather conditions in Greece from long-term national observations (1894-2010)", *International Journal of Wildland Fire*, n. 22
- Le Lannou M. (1941), *Patres et Paysants de Sardaigne*, Arrault, Tours, ed. it. (1979), *Pastori e Contadini di Sardegna*, Della Torre, Cagliari
- Liao K.H., Deng S., Tan P.Y. (2017), "Blue-Green Infrastructure: New Frontier for Sustainable Urban Stormwater Management", in Tan P., Jim C. (eds.), *Greening Cities. Advances in 21st Century Human Settlements*, Springer, Singapore, pp. 203-226.
- Loi M. (2016), *Modello di prevenzione incendi nella regione del Barigadu*, Tesi di Laurea Magistrale e Master Europeo in Pianificazione e Politiche per la Città, l'Ambiente e il Paesaggio, Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica, Università degli Studi di Sassari.
- Maidment D.R. (1992), *Handbook of Hydrology*, McGraw-Hill, New York.
- Mileti R.A. (1975), *Natural Hazard Warning Systems in the United States: A Research Assessment*, Institute of Behavioral Sciences, University of Colorado, Boulder.
- Mishra S.K., Singh V. (2003), *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*, Springer, Dordrecht.
- Niemczynowicz J. (1999), "Urban hydrology and water management – present and future challenges", *Urban Water*, n. 1, pp. 1-14
- Nijhuis S., Stolk E., Hoekstra M. (2017), "Teaching Urbanism: the Delft approach", *Urban Design and Planning*, n. 170, issue DP3, pp. 96–106.
- Pausas J.G., Ribeiro E. (2013), "The global fire-productivity relationship", *Global Ecology and Biogeography*, n. 22, pp. 728-736.
- Pereira M., Trigo R., Dacamara C., Pereira J., Leite S. (2005), "Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal", *Agricultural and Forest Meteorology*, n. 129, pp. 11-25.
- Petak W.J., Atkisson A.A., 1982, *Natural Hazard Risk Assessment: Anticipating the Unexpected*, Springer, New York .
- Rehak D., Senovsky M., Balog K., Dvorak J. (2011), "Analytical tool for risk assessment of landscape and urban planning: Spatial development impact assessment", *Central European Journal of Engineering*, n. 1, pp. 202-209.
- Rosenzweig B., Fekete B. (2018), "Green Infrastructure Plan: Opportunities for Innovation in Climate-Change Resilience", in Corrêa d'Almeida A. (Ed.), *Smarter New York City: How City Agencies Innovate*. Columbia University Press, New York, pp. 150-180.
- Salis M., Ager A.A., Arca B., Finney M.A., Bacciu V., Duce P., Spano D. (2012), "Assessing Exposure of Human and Ecological Values to Wildfire in Sardinia, Italy", *International Journal of Wildland Fire*, n. 22, pp. 549-565.
- Sereni E. (1981), *Terra nuova e buoi rossi*, Einaudi, Torino.
- Taleb N.N. (2012), *Antifragile*, Random House, New York.
- Tedde C. (2017), *Da "città-canale" a "città-barena": un percorso operativo per l'individuazione di strategie di riorganizzazione urbana per una città permeabile*, Tesi di Laurea Magistrale e Master Europeo in Pianificazione e Politiche per la Città, l'Ambiente e il Paesaggio, Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica, Università degli Studi di Sassari.
- Tyler J. (2016), "Sustainable Hazard Mitigation: Exploring the Importance of Green Infrastructure in Building Disaster Resilient Communities", *Consilience*, n. 15, pp. 134-145.
- Walker B.H., Salt D. (2006), *Resilience thinking: Sustaining ecosystems and people in a changing world*, Washington DC: Island Press.
- Westerling A.L. (2010), "Climate change impacts on wildfire", in Schneider S.H., Rosencranz A., Mastrandrea M.D., Kunz-Duriseti K. (Eds.), *Climate Change Science and Policy*, Island Press, Washington, USA.

ABSTRACT

The work proposes methodological approaches that lead to integrated planning and design at different scales, trying to balance often conflicting needs, demonstrating —on the one hand— how a significant part of the mitigation needs of the urban environment effects on climate, of adaptation of the same to the effects of climate change can be satisfied reinterpreting the original matrix of the built environment in a bio-climatic key, assessed through the use of a simple coefficient (of residual rain). On the other hand, as a set of practices based on land use (forest, agro-pastoral, periurban and urban), seen in terms of improving the socio-economic conditions of the territory, are key in the prevention of fires by comparing the simulation of its effects with a forecast model (burn probabilities) under current conditions through the study of winds and the use of the Fuel Model used in other studies by experts in the field.