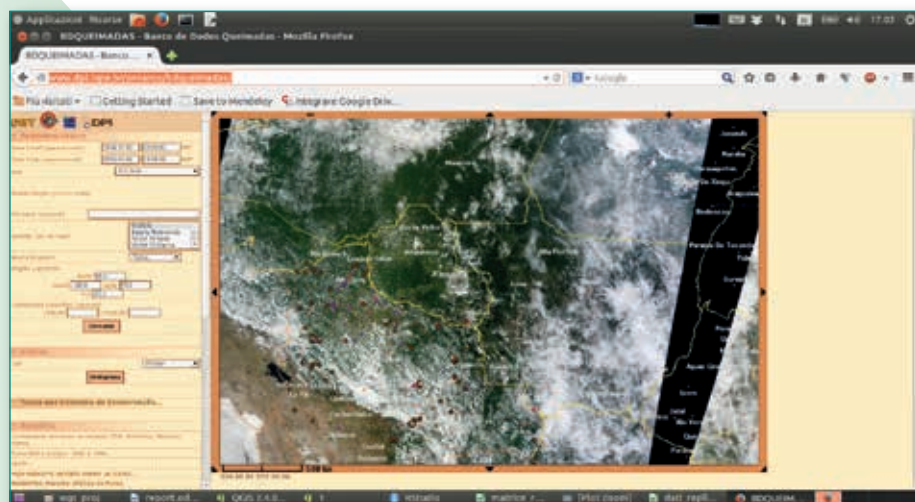


Metodología para la detección y cuantificación de incendios forestales por anomalías térmicas detectadas por satélite en la Amazonía boliviana

di Programa Amazonía Sin Fuego

En Bolivia, el Programa Amazonía Sin Fuego (PASF), es una iniciativa ejecutada por la Autoridad Plurinacional de la Madre Tierra, entidad autárquica bajo tuición del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, con el financiamiento y asistencia técnica de los Gobiernos de Italia, Brasil y del Banco de Desarrollo de América Latina (CAF). La misión del PASF es contribuir a la reducción de la incidencia de incendios forestales en la región amazónica, promoviendo prácticas de desarrollo sustentable en el bosque amazónico.

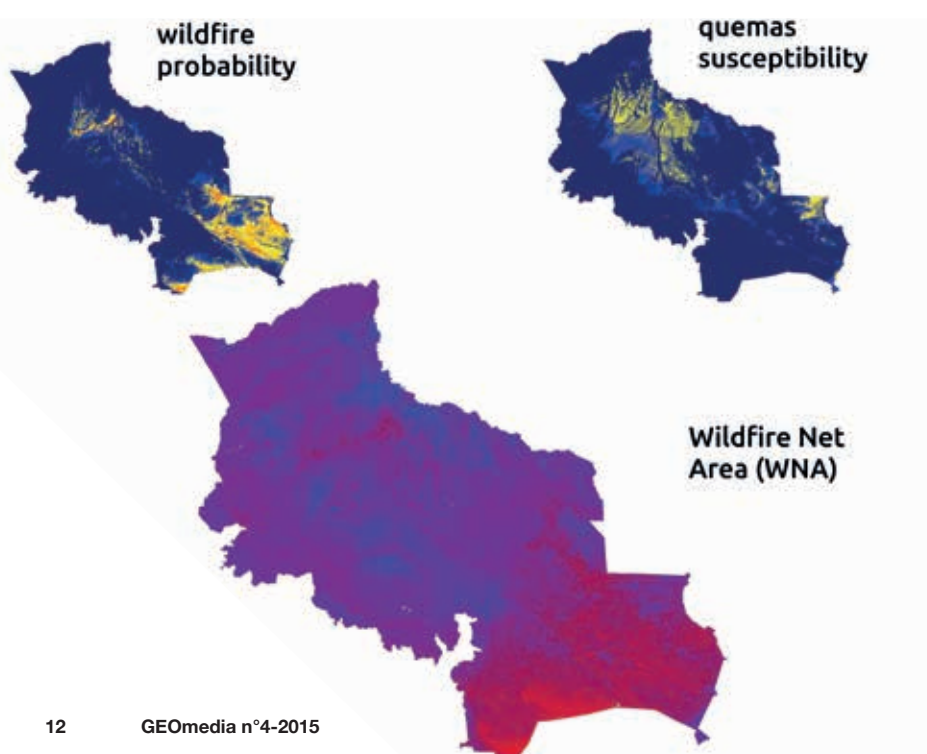


El PASF está integrado por un equipo multidisciplinario y de especialistas que, desde una oficina central de coordinación ubicada en la ciudad de La Paz, se organizan bajo una estructura modular: 5 oficinas con sede en distintos puntos

estratégicos de la Amazonía Boliviana, en los Departamentos de La Paz, Beni, Pando, Cochabamba y Santa Cruz. El Programa trabaja en 49 municipios y más de 400 comunidades indígenas y rurales, desarrollando colaboraciones institucionales con diferentes entidades, comunida-

des, asociaciones de productores y ganaderos, municipios y universidades, entre otros. En su primera fase (2012-2015) el PASF ha contado, en este sentido, con el apoyo del Instituto per la Cooperazione Universitaria (ICU) y de INFOGEONATURA, para la ejecución de un conjunto de actividades complementarias.

El PASF considera prioritaria la formación y su estrategia prevé la integración de actividades referidas a sensibilización, concientización y fortalecimiento de capacidades en distintos niveles, desde los comunitarios hasta los gubernamentales, para reforzar los componentes locales de prevención y respuesta a los incendios forestales. A través de los procesos de capacitación (más de 700 talleres organizados y 23.000 participantes en el periodo 2012-2015), la iniciativa promueve la difusión de alternativas al uso del fuego en las prácticas agropecuarias.



En este marco se ha desarrollado la metodología para la detección, diferenciación y cuantificación de incendios forestales por anomalías térmicas (focos de calor vs. incendios forestales) detectadas por el satélite.

Paso 1

Lectura de datos y diferenciación entre focos de calor e incendios forestales en el Programa “Amazonía Sin Fuego”: se basa en la utilización de los datos de satélite de las anomalías térmicas (Focos de Calor) que se descargan de forma continua desde el sitio del INPE <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>.

Paso 2

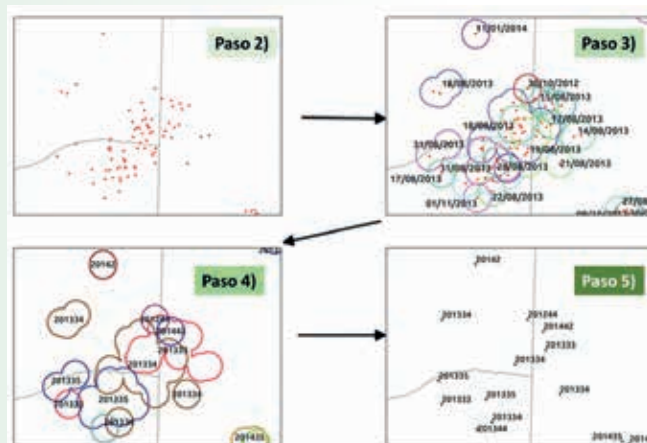
La primera discriminación de anomalías térmicas (focos de calor) se llevó a cabo en base a los mapas de susceptibilidad a “Incendios” y “Quemas”, preparados durante el módulo denominado “Construcción de un algoritmo computacional de discriminación entre focos de calor e incendios forestales y quemas”. Los mapas de susceptibilidad se formulan según el método de estimación por máxima verosimilitud de las variables, lo que permite determinar las probabilidades que se produzcan eventos de incendios o focos de calor. La estimación por máxima verosimilitud se computa por medio de la

medición de las variables en los puntos en los que se registran incendios o quemas, con respecto al conjunto del territorio analizado.

Posteriormente los datos relacionados con estos dos eventos (incendios y quemas) fueron proporcionados por la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Bosques y Tierra (ABT), habiendo sido utilizados en un 70% para la creación de los mapas de susceptibilidad, y en un 30% como prueba independiente los mapas producidos. Las variables utilizadas incluyen a la información obtenida a partir del mapa de vegetación de Navarro, los datos sobre uso del suelo y los valores geomorfológicos disponibles en la página GeoBolivia, así como los datos climáticos extraídos del dataset WorldClim.

Para poder procesar los datos registrados por satélite - inclusivos de todas las anomalías térmicas – e identificar los incendios forestales en el marco de los mapas de susceptibilidad a “Incendios” y “Quemas”, se elaboró la **Wildfire Net Area**.

La WNA se realizó en entorno GIS, para de esta forma evidenciar la susceptibilidad a incendios y excluir las probabilidades de ocurrencia de quemas.



El conjunto de “focos de calor” así obtenido fue superpuesto a los píxeles con WNA positiva y, al mismo tiempo, a los mapas de vegetación forestal, siendo finalmente considerados como posibles incendios forestales.

Paso 3

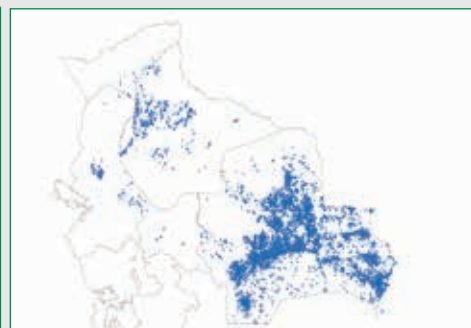
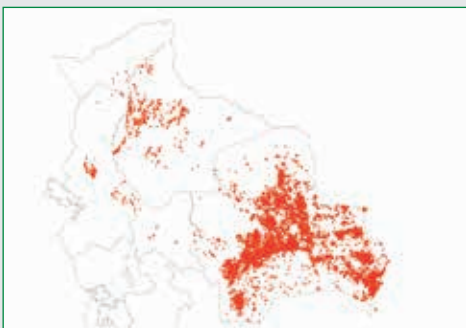
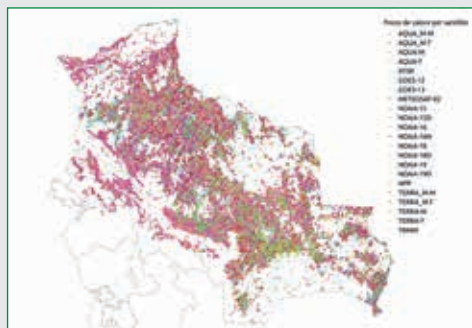
Con el fin de compensar el hecho de que una misma anomalía térmica es registrada por diferentes sensores, así como para reducir los errores de proyección (ínsitos en los sensores), es necesario realizar una agregación de los puntos sobre una base espacial; posteriormente, para relacionar con un mismo evento las mediciones registradas en días sucesivos (por ejemplo en el caso de incendios cuya duración es de varios días y que se mueven hacia áreas adyacentes), fue oportuno efectuar una agregación sobre una base temporal.

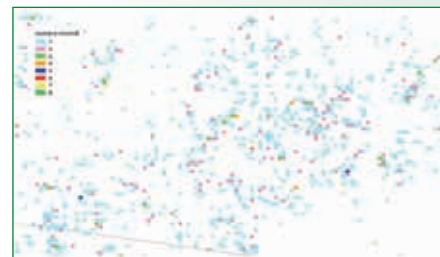
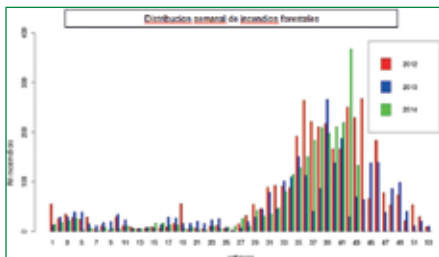
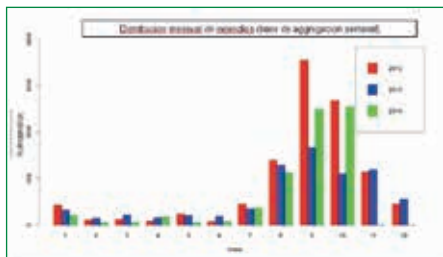
Número de “Focos de calor” registrado por todos los satélites en el database (INPE): 222351. Número de focos de calor en áreas de “vegetación forestal” y con WNA positiva: 47877. Número total de incendios forestales en agregación diaria: 12610.

Superficie mínima medida (sobre la base de la zona mínima detectable de sensores iguales a 5000 m2): 6265 hectáreas. Estimación de la superficie máxima (con buffer 1,3 km): 1730998 hectáreas. Estimación de la superficie realística de incendios (con buffer

medio 0,4 km, probabilidad >0,8): 532615 hectáreas. Número total de incendios forestales con agregación semanal: 8770. Superficie mínima medida interesada por incendios forestales (sobre la base de la zona mínima detectable de sensores iguales a

5.000 m2): 4336 hectáreas. Estimación de la superficie máxima (con buffer 1,3 km): 1383543 hectáreas. Estimación de la superficie realística de incendios (con buffer medio 0,4 km, probabilidad >0,8): 425705 hectáreas.





La agregación espacial se realiza mediante la creación de un buffer de distancia fija (radio de 1,5 km) para cada punto; la distancia es determinada por el error de proyección y registración de los medidores satelitales, estimado hasta un máximo de 3 veces la resolución de los sensores (alrededor de 500 metros).

Paso 4

Los buffers así creados se agregaron nuevamente en el plazo de una semana. Este procedimiento se realizó para incluir en el mismo evento de incendio las diferentes grabaciones de focos de calor registradas secuencialmente durante varios días. De esta manera se puede formular el análisis de las situaciones en las que el mismo incendio “se mueve” en el espacio y en el tiempo (hasta una semana).

Paso 5

De la extrapolación de los centroides de los buffers semanales fue posible estimar el número de incendios forestales.

Paso 6

Del cálculo de las áreas de los buffers agregados para evento único de incendio forestal, se procedió a estimar el área interesada por incendios forestales en la zona de intervención del PASF relativamente al periodo objeto del estudio (2012-2014).

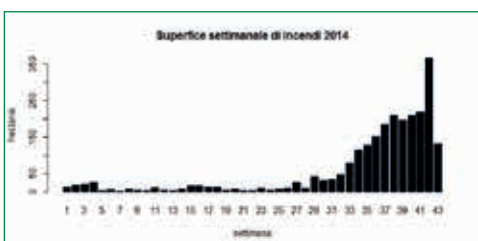
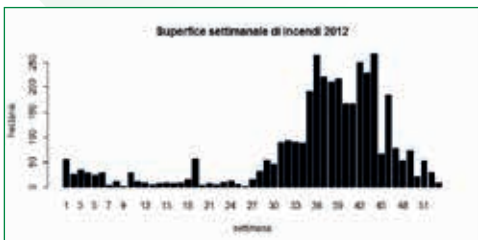
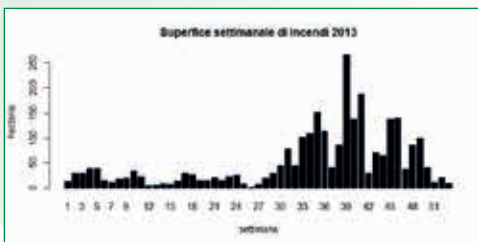
Paso 7

Es se hizo una base de datos integrada “user’s friendly “ para la discriminación de los tipos de focos de calor orientado a la utilización en las instituciones bolivianas con responsabilidad activa en temas de planificación, el uso del suelo y los incendios forestales (ABT, Madre

Tierra, MMAYA, Dirección Forestal, Gobiernos Regionales y Alcaldías). El subproducto de esta etapa es el de facilitar la creación de un lenguaje común en la discusión de los aspectos de la planificación, gestión y diseño determinado por el tema “incendios forestales”.

Recurrencia espacial de incendios forestales en la misma zona durante el período analizado (enero 2012 - noviembre 2014)

Para evaluar la ocurrencia de eventos de incendios forestales en la misma zona se construyó una malla de recurrencia kilométrica. Sucesivamente fueron contabilizados los incendios (focos de calor en agregación semanal) por cada km2 (célula unidad) como se muestra a continuación (Tab. 1).



Número de repetición de los incendios	Número de celulas unitaria (km ²)	%
1	6898	89,029
2	722	9,319
3	99	1,278
4	21	0,271
5	5	0,065
6	1	0,013
7	1	0,013
8	1	0,013
TOTALE	7748	100,000

Tab. 1 – Número de repetición de los incendios.

PAROLE CHIAVE

AMAZONÍA; INCENDIOS; GIS; SATÉLITE

ABSTRACT

In questo articolo si illustra un contributo di ricerca richiesto al Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agrari, Alimentari e Forestali (GESAAF) dell’Università di Firenze nell’ambito delle attività di cooperazione internazionale afferenti il progetto “Amazzonia senza Fuoco: analisi dei dati volti alla modellizzazione dei fuochi di calore e degli incendi forestali nella Bolivia amazzonica”, effettuato anche a corredo di precedenti contratti e convenzioni, in particolare il progetto INTERREG IVC - EUFOFINET: Europe Forest Fire Network e il progetto PRIN 2009 “Sviluppo di modelli di gestione combustibile e sistemi di raccolta della biomassa” (responsabile di unità scientifica: prof. Enrico Marchi).



AUTORE

PROGRAMMA AMAZZONIA SENZA FUOCO
PASF

Proposta metodologica e algoritmo per la lettura critica dei dati e la discriminazione di hotspot e incendi forestali

Attività sviluppata nel quadro del Programma "Amazonía Sin Fuego". "Construcción de un modelo lógico-interpretativo y de un programa computacional asociado de lectura de datos diferenciados entre focos de calor e incendios forestales".

Il Programma Amazonía sin Fuego (PASF) è eseguito in Bolivia dall'Autorità Plurinazionale della Madre Terra, organo autarchico dello Stato boliviano dipendente dal Ministero dell'Ambiente e Acqua, grazie al finanziamento del Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale (Cooperazione Italiana allo Sviluppo), ed ai contributi del Governo Brasiliano e della Banca di Sviluppo dell'America Latina (CAF).

L'obiettivo generale del Programma è quello di ridurre l'incidenza di incendi nella regione amazzonica della Bolivia, attraverso la promozione e diffusione di pratiche alternative all'uso del fuoco nelle attività agricole, contribuendo a proteggere l'ambiente ed a migliorare le condizioni di vita delle comunità indigene e rurali. L'iniziativa, eseguita in gestione diretta e coordinata dall'Ufficio PASF di La Paz, si avvale anche della collaborazione dell'Istituto per la Cooperazione Universitaria (ICU) e dell'entità boliviana INFOGONATURA, responsabili dell'esecuzione di una serie di attività complementari.

La strategia del PASF, che opera in 49 Municipi e 440 comunità della regione amazzonica boliviana, si concentra sulla formazione delle capacità a diversi livelli - dal produttore alle comunità indigene, dai tecnici municipali agli organi statali - con lo scopo di rafforzare le componenti locali di prevenzione e risposta agli incendi boschivi. Attraverso diversi moduli formativi (più di 700 corsi organizzati e 23.000 partecipanti nel periodo 2012-2015), l'iniziativa promuove l'adozione di alternative all'uso del fuoco nelle attività agricole e zoo-tecniche.

Un ulteriore componente del PASF - sviluppata in collaborazione con ICU ed il Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agrari, Alimentari e Forestali (GESAAF) dell'Università di Firenze - ha riguardato la proposta metodologica per lo sviluppo di un software per la lettura e differenziazione dei dati relativi a hotspot e incendi boschivi, articolatasi in tre momenti:

- A) Linea base e definizione delle conoscenze di base;
- B) Proposta metodologica e sviluppo di un algoritmo per la lettura critica dei dati e la discriminazione di hotspot e incendi forestali;
- C) Validazione e verifica della funzionalità dell'algoritmo e applicazioni specifiche.

Nell'ambito della fase di formulazione della Linea base è emerso come il modello di calcolo dovesse affrontare e risolvere una serie di problemi specifici correlati all'incidenza del fuoco quale fattore di disturbo ricorrente, e che tale modello non potesse limitarsi solo a differenziare gli hotspot (*focos de calor*) da fenomeni che venissero ascritti ad una generica categoria "incendi".

Infatti, allorché i modelli interpretativi di dati satellitari disponibili (ad es. MODIS, INPE) riportano gli hotspot quali alterazioni termiche della superficie terrestre (pixel "caldi"), una volta filtrate le discrepanze più evidenti (ad esempio i falsi dovuti alla riflettanza dei corpi idrici in particolari situazioni stagionali e di incidenza dei raggi solari), è necessario determinare il tipo di evento di fuoco. In questo senso si può fare riferimento, in via preliminare, a due classi: a. incendio libero di coperture vegetali (incendio d'ora in avanti); b. hotspot: fuoco controllato (debbio) condotto con obiettivi agronomici (*quema* d'ora in avanti). Gli eventi così riclassificati dovranno quindi essere sottoposti ad analisi geostatistiche che mettano in evidenza la probabilità di associare un hotspot ad un evento appartenente alla classe a. oppure b.

Tale assunto richiede l'adozione di una metodologia



non lineare, in modo da evitare il rischio di un autoreferenzialità dei dati di base disponibili. I dati informativi relativi a incendi e *quemias* sono, infatti, estratti come derivato dai database internazionali (in particolare MODIS) di hotspot: agire secondo discriminanti statistiche lineari comporterebbe quindi l'accettazione di un errore di fondo (hotspot = incendio; hotspot = *quema*) che è esattamente antitetico all'obiettivo di questa fase del PASF.

Sulla base di tali premesse si configura il contributo di ricerca in oggetto richiesto al GESAAF, sia a completamento del precedente contratto fra ICU e GESAAF "Amazonía sin Fuego: analisi dei dati volti alla modellizzazione dei fuochi di calore e degli incendi forestali nella Bolivia amazzonica" teso alla definizione della linea base, sia a corredo di precedenti contratti e convenzioni, in particolare il progetto INTERREG IVC - EUFOFINET: Europe Forest Fire Network (responsabile scientifico prof. Enrico Marchi) ed il progetto PRIN 2009 "Sviluppo di modelli di gestione combustibile e sistemi di raccolta della biomassa" (responsabile di unità scientifica: prof. Enrico Marchi).

La configurazione del modello di calcolo non ha seguito un metodo classico di adozione e aggiustamento di algoritmi discriminanti hotspot da incendi. L'analisi bibliografica (vedi: ICU, 2014, Diagnostico situacional § 5.1) a livello boliviano e internazionale, ha messo in luce che gli algoritmi progettati per discriminazioni tra hotspots e incendi, così come le mappe di rischio di incendio, si basano principalmente sui seguenti criteri: a) proprietà di risoluzione delle immagini; b) analisi delle bande spettrali; c) caratteristiche geofisiche di acquisizione delle immagini e tempo di ritorno del satellite sullo stesso punto della terra.

Gli algoritmi di discriminazione degli hotspots (piuttosto rari) possono utilizzare: i. dati biometeorologici derivati da satelliti geostazionari di seconda generazione (ad esempio Meteosat II della Agenzia Spaziale Europea); ii. Dati Lidar che restituiscano il modello digitale della superficie e della struttura della vegetazione volti a generare modelli realistici di carburante; iii. immagini satellitari ad alta risoluzione con tempi di rivisitazione tra 24 ore. L'utilizzo di tali dati in aree del mondo in cui la frequenza di fuoco prescritto come tecnica agronomica è trascurabile, portano ad una probabilità massima di coincidenza tra hotspot e incendio pari al 90%. In Bolivia tali dati non sono attualmente disponibili.

E' stato quindi necessario operare con una metodologia differente. Attualmente, la stima di affidabilità dei dati hotspot come indicatori diagnostici degli incendi forestali non supera il 50%. Questo dato rappresenta un risultato di massima incertezza (1:1) nell'interpretazione sicura di un incendio forestale. La metodologia proposta nell'ambito di questo contributo di ricerca ha previsto l'adozione di un modello logico sviluppato in quattro momenti integrati:

- A) Valutazione critica delle variabili informative disponibili;
- B) Modellazione statistica e restituzione cartografica delle variabili più informative e significative per la probabilità del verificarsi di un incendio, di una *quema* o di un hotspot;
- C) Elaborazione di cartografie tematiche probabilistiche di ricorrenza dei fenomeni di fuoco (incendi, hotspot) in dipendenza della capacità di relazione statistica fra le variabili e gli eventi storici riportanti secondo serie di dati disponibili;
- D) Comparazione ponderata dell'importanza relativa delle variabili e degli attributi di ciascuna variabile, finalizzata a discriminare il peso potenziale che i singoli strati informativi (tipo di vegetazione, tipo di land cover; caratteri bioclimatici; presenza di insediamenti e infrastrutture) possono generare sulla suscettibilità di qualsiasi tratto di territorio amazzonico (unità minima: pixel a risoluzione nota) ad essere percorso da incendi o a ospitare *quemias*.

L'applicazione del modello ha previsto prima una verifica e validazione per casi di studio selezionando un minimo di tre comuni afferenti al progetto PASF. Sulla base di tale validazione (attualmente in fase di svolgimento) verrà sviluppata la versione finale del modulo computazionale di previsione e discriminazione degli hotspots in relazione alla suscettibilità a incendi e *quemias*. La ricerca prevede, infine, uno spazio conclusivo orientato alla presentazione degli output di progetto ed alla predisposizione di materiale divulgativo e di facilitazione per l'applicazione operativa del modello computazionale (fig. 1).

Attraverso questa attività, il programma finanziato dalla Cooperazione Italiana trasferirà allo Stato boliviano un sistema per la lettura dei dati che attualmente non esiste nel Paese, e che potrà essere uno strumento utile alla programmazione strategica del settore nell'ottica di rispondere a emergenze e criticità causate dagli incendi boschivi.

Il prodotto sviluppato offre inoltre un sostanzioso contributo sul piano della standardizzazione e unificazione di dati e processi, considerato che le diverse istituzioni operanti nel campo della classificazione dei valori relativi agli incendi dispongono attualmente di studi e documenti d'analisi discrepanti tra loro, in ragione dell'alta disomogeneità esistente in Bolivia a livello di raccolta e registrazione di dati afferenti gli incendi forestali.

