

Un sistema integrato per il monitoraggio e la mappatura delle aree percorse da incendio nei Parchi Nazionali attraverso l'utilizzo dei dati da satellite

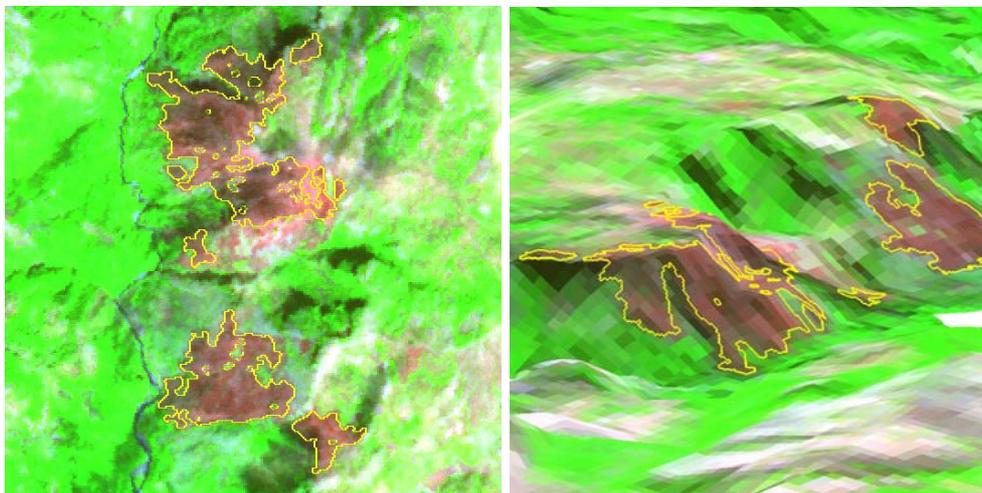
Convenzione fra Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - Direzione per la Protezione della Natura (DPN) ed il Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (CNR-IREA)

Rapporto Finale

Pietro Alessandro Brivio

Paolo Zaffaroni, Daniela Stroppiana, Mirco Boschetti

CNR, IREA, Milano



Sommario

1. Premessa	3
3. Telerilevamento da satellite e incendi	8
3.1 Il sensore ASTER	9
3.2 Proprietà spettrali delle aree percorse da incendio	10
3.3 Delimitazione delle aree percorse da incendio	12
4. Base dati delle immagini satellitari	17
4.1 Le immagini ASTER	17
4.2 Le immagini SPOT	21
5. Definizione della metodologia di analisi	23
5.1 Il caso di studio della Gallura	23
5.2 Parco Nazionale del Gargano 2004	35
5.3 Parco Nazionale del Pollino 2004	40
5.4 Approcci utilizzati	47
5. I perimetri delle aree percorse dal fuoco rilevate da satellite	52
6. Valutazione dei risultati	63
6.1 Valutazione statistica del metodo semi-automatico	64
6.2 Valutazione dei perimetri delle aree bruciate	69
7. Conclusioni	76
Referenze bibliografiche	80
ALLEGATI	82
- Allegato 1 Aree percorse dal fuoco rilevate da satellite suddivise per Parco e per anno	1-47
- Allegato 2 Aree percorse dal fuoco rilevate da satellite e dati di riferimento disponibili	1-8
- Allegato 3 Confronto fra aree percorse dal fuoco nel PN del Pollino	1-23
- Allegato 4 Seminario formativo: Telerilevamento da satellite per gli incendi boschivi	1-4

In copertina: Parco Nazionale del Pollino, immagine ASTER 14 settembre 2004 (RGB: 832)

1. Premessa

La conservazione e la valorizzazione della risorsa naturale costituita dai boschi e dalle foreste, in particolare delle aree protette e dei Parchi Nazionali, deve essere basata sulla conoscenza delle sue caratteristiche e dei fattori di disturbo. Fra questi ultimi, gli incendi rivestono un ruolo di particolare importanza, e costituiscono uno dei principali fattori di degrado e di distruzione del patrimonio forestale italiano.

I danni causati dagli incendi interessano il bosco nelle sue molteplici funzioni e possono essere diretti o indiretti. I primi hanno un immediato riscontro economico, legato al valore del legname distrutto, ai costi di prevenzione, di estinzione e di bonifica delle aree percorse ed alle spese che si rendono necessarie per il ripristino dei soprassuoli; i secondi, difficilmente quantificabili, sono invece costituiti dai danni subiti dalle aree boscate in qualità di parte integrante dell'intero ecosistema (alterazione di popolamenti vegetali, riduzione della difesa idrogeologica, depauperamento della vocazione paesaggistica e turistico-ricreativa, ecc.).

La Legge n. 353 del 21 novembre 2000 fornisce il quadro entro cui le autorità competenti devono svolgere le attività di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi boschivi. In particolare, nelle aree naturali protette statali - data la loro specifica valenza naturalistica - è prevista un'apposita pianificazione antincendi boschivi (AIB) a cura del Ministero dell'Ambiente su proposta degli Enti gestori.

Per detta pianificazione AIB e per il monitoraggio sistematico degli incendi, risulta particolarmente importante il rilievo cartografico delle aree percorse da incendio negli ultimi anni e nell'anno corrente da utilizzare quale strumento propedeutico per la previsione e prevenzione del fenomeno, per il ripristino naturalistico delle aree distrutte o danneggiate, nonché per la gestione delle stesse secondo i vincoli di legge.

L'obiettivo di questa Convenzione è la predisposizione di un sistema per il monitoraggio degli incendi e la mappatura delle aree percorse dal fuoco nei Parchi Nazionali attraverso l'utilizzo dei dati da satellite. Esso si può articolare nei seguenti obiettivi specifici:

- Costituzione di una base dati delle immagini del sensore ASTER acquisite nella serie storica per il periodo 2001-2005 sulle aree dei Parchi Nazionali.
- Creazione di una base dati dei perimetri delle aree per corse dal fuoco attraverso una opportuna metodologia di elaborazione dei dati satellitari, compatibile con il Sistema Informativo Geografico (GIS) della Direzione per la Protezione della Natura, e sua implementazione in tale GIS.
- Valutazione dell'accuratezza dei risultati mediante confronto critico di un congruo campione di perimetri rilevati da immagine ASTER ed i corrispondenti perimetri "reali" di aree percorse da incendi, rilevate con i vari elementi informativi disponibili (foto aeree, schede e mappe AIB del CFS, dei PN, e di altri enti locali interessati, rilievi a terra tramite GPS, ecc.).

Il valore aggiunto ottenibile dai risultati previsti riguarda l'informazione sulla distribuzione spaziale delle aree bruciate negli ultimi anni, che andrebbe a complemento e completamento delle informazioni già disponibili presso il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - Direzione per la Protezione della Natura (DPN) e presso i Parchi nazionali, anche attraverso l'attività del Corpo Forestale dello Stato (CFS) con i relativi Coordinamenti Territoriali per l'Ambiente (CTA), al fine di una migliore pianificazione antincendi boschivi (AIB) negli stessi Parchi Nazionali.

2. Dati di riferimento sui Parchi Nazionali

La Direzione Protezione Natura del Ministero dell'Ambiente ha fornito una serie di informazioni di base sia di tipo cartografico che di tipo tabellare, riguardanti i Parchi Nazionali e gli eventi di incendio registrati a terra, indispensabili o comunque di utilità alla realizzazione del progetto.

Le informazioni cartografiche sui Parchi Nazionali sono costituite dai file vettoriali dei limiti dei Parchi Nazionali (shape files, proiezione ecc.) che permettono di determinare sulle immagini da satellite le aree di studio.

Le informazioni sugli eventi di incendio sono sia dati di sintesi (Tab. 2.1) che dati analitici.

Tabella 2.1 – Numero di incendi e superficie totale (boscata / non boscata) interessate (fonte CFS).

PARCO NAZIONALE	2000		2001		2002		2003		2004		2005	
	n.	Sup(ha)										
Gran Paradiso	3	20,0	1	0,2	2	3,5	0	0,0	1	10,0	0	0,0
Val Grande	0	0,0	0	0,0	1	50,0	2	49,6	1	0,1	1	0,5
Stelvio	5	4,6	3	4,3	5	3,3	3	2,3	5	9,7	2	0,4
Dolomiti Bellunesi	2	18,1	2	60,0	2	667,0	6	14,4	1	0,0	1	0,2
Cinque Terre	5	2,7	4	36,3	0	0,0	2	0,7	10	11,1	2	0,02
Arcipelago Toscano	11	17,1	33	353,3	6	3,0	12	668,7	3	3,1	2	0,02
Appennino Tosco Em.			2	5,0	1	1,0	0	0,0	1	0,9	0	0,0
Foreste Casentinesi	0	0,0	3	3,8	1	0,4	1	0,1	0	0,0	0	0,0
Monti Sibillini	7	11,2	8	3,6	7	27,9	6	2,4	2	9,3	3	0,4
G. Sasso e M. Laga	7	367,5	9	151,7	13	69,5	15	51,5	3	6,2	1	2,0
Majella	21	1241,5	15	86,6	0	0,0	6	31,7	0	0,0	0	0,0
Abruzzo Lazio Molise	3	136,5	0	0,0	1	0,4	0	0,0	2	89,0	0	0,0
Circeo	39	13,0	36	38,0	7	0,1	25	6,9	14	1,6	17	25,3
Vesuvio	162	99,0	120	78,3	50	13,5	147	81,1	46	87,8	26	17,1
Cilento e V. di Diano	389	1885,2	457	1.235,1	140	457,5	304	787,7	227	1.163,9	183	639,8
Gargano	64	2279,6	46	293,4	11	10,7	73	416,1	35	183,4	26	164,8
Pollino	155	2759,9	124	1.546,9	52	407,7	94	342,0	81	557,6	62	940,3
Sila			0	0,0	0	0,0	2	2,0	20	106,7	7	76,6
Aspromonte	66	516,0	111	661,4	45	289,6	78	249,4	52	179,6	25	198,6
Asinara	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
La Maddalena	1	0,3	0	0,0	0	0,0	3	22,1	0	0,0	2	15,0
TOTALE	940	9.372,1	974	4.557,8	344	2.005,0	779	2.728,5	414	2.038,7	383	2.090,2

Nella Tabella 2.1, sono evidenziate in azzurro le zone e gli anni in cui il numero di eventi e le superfici registrate sono al di sotto di una determinata soglia per cui possono essere escluse dall'analisi successiva con i dati da satellite, mentre in giallo le situazioni più critiche (incendi frequenti che percorrono aree di estensione significativa).

I dati analitici sono di *tipo puntuale*, riguardano gli anni 2003-2005 e per ogni incendio forniscono le seguenti informazioni:

- codice identificativo incendio
- data incendio
- codice identificativo Parco
- nome località (Comune)
- coordinate cartografiche UTM ED50 del punto
- coordinate geografiche Lat – Lon del punto
- codice Regione
- codice Comune (ISTAT)
- superficie totale (ha)
- superficie boscata / non boscata (ha).

Sono stati, inoltre, messi a disposizione *dati di tipo vettoriale* che rappresentano i poligoni delimitanti le aree percorse da incendio (shape file) nei seguenti Parchi Nazionali: Gargano (2004, 2005), Pollino (2004, 2005) e Cilento (2005).

Per ogni Parco, questi data base contengono le seguenti informazioni:

- codice identificativo incendio
- codice Regione, Provincia, Comune (ISTAT), nome località
- data incendio
- data rilievo a terra
- metodo rilievo a terra, strumenti (GPS, altro)
- uso del suolo (bosco, non bosco, ...)
- superficie in m², superficie in ha
- perimetro in m

Una ulteriore informazione riguarda le proiezioni geografiche dei dati:

- confini dei Parchi Nazionali sono in UTM (32) WGS 84
 - dati puntuali BD CFS sono in UTM ED 50
 - dati vettoriali GPS/CFS sono in UTM (32) ED 50 e anche in Gauss Boaga
- Sono stati tutti riportati nella stessa proiezione geografica UTM (32 o 33) WGS 84.

Una prima analisi comparativa di queste informazioni ha evidenziato alcuni fatti: in alcuni casi le informazioni vettoriali (GPS/CFS) appaiono più in accordo con i dati sintetici (Dati dai PN) come nel caso del Pollino 2004, in altri invece le informazioni vettoriali appaiono più in accordo con i dati puntuali (Dati BD CFS) come nel caso del Gargano 2004. La differenza per i dati vettoriali Cilento 2005 si può imputare al fatto che non è ancora stato completato il loro inserimento nel relativo data base. Alcuni dati BD CFS non corrispondono alle relative pubblicazioni annuali; una possibile ragione è la mancanza di una o entrambe le coordinate geografiche nei file trasmessi per cui non sono stati considerati cartografabili. Queste considerazioni preliminari, oltre a confermare le difficoltà che si incontrano nel monitoraggio a terra delle aree percorse da incendio e lo sforzo richiesto per la loro compilazione, possono suggerire che anche l'indispensabile confronto fra i dati a terra e i prodotti derivati dalle immagini satellitari potrebbe non essere privo di problemi.

Tabella 2.2 – Confronto fra tre tipologie di informazioni (sintesi, puntuali, vettoriali) relativamente al dominio di tre Parchi Nazionali, considerando tutte le aree rilevate, anche quelle < 1 ha.

GARGANO	2004		2005	
	n. incendi	Sup(ha)	n. incendi	Sup(ha)
Dati dai PN	35	183,4	26	164,8
Dati BD CFS	27	126,1	26	164,8
Vettori GPS/CFS	27	123,9	27	146,8
POLLINO	2004		2005	
	n. incendi	Sup(ha)	n. incendi	Sup(ha)
Dati dai PN	81	557,6	62	940,3
Dati BD CFS	92	656,7	52	964,6
Vettori GPS/CFS	86	584,4	64	989,5
CILENTO	2004		2005	
	n. incendi	Sup(ha)	n. incendi	Sup(ha)
Dati dai PN	227	1163,9	183	639,8
Dati BD CFS	215	1138,1	174	632,0
Vettori GPS/CFS	-	-	104	326,3

3. Telerilevamento da satellite e incendi

Le nuove tecnologie di Osservazione della Terra, basate sulle immagini acquisite da piattaforme satellitari, se ben utilizzate possono fornire aiuti preziosi alla lotta agli incendi boschivi. Il Telerilevamento da satellite, che si è dimostrato uno strumento insostituibile nello studio e nel monitoraggio della distribuzione degli incendi a scala globale o continentale, può fornire alla scala nazionale o regionale un prezioso e importante contributo alle politiche messe in atto dalle diverse autorità competenti (Protezione Civile, Corpo Forestale, ecc.) nella lotta contro gli incendi.

Gli aspetti che vengono generalmente affrontati mediante l'utilizzo delle immagini da satellite riguardano da un lato l'individuazione degli incendi nella loro fase attiva (si parla di "active fires") e dall'altro nello studio degli effetti del fenomeno, in particolare nella determinazione delle aree percorse da incendio.

Mentre lo studio della fase attiva degli incendi richiede di privilegiare satelliti e sensori con un'alta risoluzione temporale a discapito della risoluzione spaziale, lo studio delle superfici bruciate viene affrontato sia con sensori a bassa o media risoluzione spaziale sia con satelliti e sensori ad alta o altissima risoluzione spaziale. Le esperienze internazionali nell'utilizzo dei dati telerilevati dallo spazio per lo studio delle foreste e degli incendi sono ormai molteplici e includono sia applicazioni sperimentali, ancora in corso, sia applicazioni di routine all'interno di sistemi operativi per la gestione e controllo del territorio.

Il Programma *Active Fire Maps* del Servizio Forestale degli Stati Uniti d'America (<http://activefiremaps.fs.fed.us/>) distribuisce gratuitamente file vettoriali delle superfici percorse da incendio negli Stati Uniti. Questo servizio è basato unicamente sull'analisi delle immagini acquisite dal sensore MODIS, che permette una frequenza di 4 osservazioni al giorno grazie alla disponibilità di due piattaforme satellitari (TERRA e AQUA) su cui il sensore è montato. Il sensore MODIS permette di rilevare anomalie termiche, quali fronti di fuoco di lunghezza anche inferiore ai 100 m, e genera dati per l'interpretazione con risoluzione geometrica di 250 m. Un prodotto fornito sono le mappe regionali giornaliere.

Altri casi significativi in cui l'uso del Telerilevamento da satellite per il monitoraggio delle aree percorse da incendio è diventata una pratica consolidata, sono quelli del Canada, del Brasile e dell' Australia. Non si può infine dimenticare anche la grande esperienza acquisita dall'Unità GEM (Global Environmental Monitoring Unit) del Centro di Ricerca dell'Unione Europea JRC-EU con sede in Italia (Ispra), il cui personale è direttamente coinvolto nel Comitato Scientifico impegnato nella supervisione della realizzazione di questa Convenzione.

3.1 Il sensore ASTER

Le tecnologie di Osservazione della Terra individuate per il monitoraggio degli incendi e la mappatura delle aree percorse dal fuoco nei Parchi Nazionali sono basate sull'utilizzo dei sensori MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer) montati sulle piattaforme satellitari Terra e Aqua della NASA, e del sensore ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer).

I sensori MODIS misurano la radiazione riflessa e/o emessa dalla superficie terrestre in 36 bande dello spettro elettromagnetico, dal visibile all'infrarosso termico, con una risoluzione spaziale al suolo che varia da 250 m ad 1 km. L'ampiezza della strisciata (2300 km) combinata con la doppia piattaforma permette più rilievi della stessa area nella stessa giornata e quindi favorisce il monitoraggio degli incendi.

Il sensore ASTER è montato sulla piattaforma TERRA della NASA (Tab. 3.1) ed acquisisce dati nelle regioni dal visibile all'infrarosso termico dello spettro con una risoluzione spaziale al suolo che varia da 15 m a 90 m. L'ampiezza della linea di scansione across-track è di 60 Km e l'accuratezza nominale nella georeferenziazione dei pixel è di 50 m.

Tabella 3.1 - Principali parametri orbitali del satellite TERRA.

Orbita	eliosincrona, polare
Ora del Nodo (Equatore)	10:30 a.m., orbita discendente
Quota Media dell'Orbita	705 km
Inclinazione	98.2°
Durata di un ciclo completo	16 giorni all'equatore
Orbite al giorno	14.563
Distanza fra orbite adiacenti	172 km (1.54°)
Periodo orbitale	98.88 min
Velocità	7.5 km/s

Il sensore (Tab. 3.2), è composto da tre diversi telescopi per ognuna delle tre regioni spettrali osservate:

- VNIR (Visible and Near Infrared): fornisce osservazioni in due bande del visibile (verde e rosso) e nell'infrarosso vicino con una risoluzione di 15 metri;
- SWIR (Shortwave Infrared): fornisce osservazioni in sei bande dell'infrarosso ad onde corte, da 1.60 a 2.43 μm , con una risoluzione spaziale di 30 metri;
- TIR (Thermal Infrared): fornisce osservazioni in cinque bande dell'infrarosso termico, da 8.12 a 11.6 μm , con una risoluzione spaziale di 90 metri.

Le caratteristiche spettrali e spaziali del sensore ASTER sono adatte alla identificazione e delimitazione delle aree bruciate.

Tabella 3.2 – Caratteristiche delle bande spettrali ASTER
(<http://asterweb.jpl.nasa.gov/characteristics.asp>)

N. BANDA	BANDA SPETTRALE (μm)	
1	0.52 - 0.60	VIS, verde
2	0.63 - 0.69	VIS, rosso
3	0.78 - 0.86	NIR (nadir e backward)
4	1.600 - 1.700	SWIR1
5	2.145 - 2.185	SWIR2
6	2.185 - 2.225	SWIR3
7	2.235 - 2.285	SWIR4
8	2.295 - 2.365	SWIR5
9	2.360 - 2.430	SWIR6
10	8.125 - 8.475	TIR
11	8.475 - 8.825	TIR
12	8.925 - 9.275	TIR
13	10.25 - 10.95	TIR
14	10.95 - 11.65	TIR

3.2 Proprietà spettrali delle aree percorse da incendio

Gli effetti dell'incendio rilevabili dall'osservazione dell'area bruciata sono la deposizione di cenere e materiale incombusto (*charcoal*) e l'alterazione della vegetazione. Il primo effetto ha una durata breve, da poche settimane fino al massimo ad un mese, perché i resti della combustione vengono facilmente rimossi dal vento o dalla pioggia. L'effetto dell'alterazione della vegetazione dovuta al

passaggio del fuoco ha una durata maggiore, ed è su questo fenomeno che si basano le tecniche di analisi d'immagine per il riconoscimento delle aree percorse da un incendio (Pereira et al., 1999).

Il comportamento delle aree bruciate nelle regioni spettrali utilizzate dal telerilevamento è il seguente:

- Visibile (VIS, 0.4-0.7 μm): i suoli bruciati hanno una riflettività molto bassa e simile ad altri elementi (corpi idrici, suoli umidi, ombra delle nuvole, foreste molto dense), quindi questa regione è poco adatta per discriminare le aree bruciate.
- Infrarosso vicino (Near InfraRed, NIR) (0.7-1.3 μm): la riflettività della superficie subisce una netta diminuzione a causa della distruzione della vegetazione causata dall'incendio. La riflettività in questa regione è molto bassa per le aree bruciate recenti e poi aumenta progressivamente nel tempo con la ricrescita della vegetazione secondaria. E' la banda migliore per riconoscere le zone incendiate in quasi tutti i tipi di vegetazione.
- Infrarosso a onde corte (Short-wave InfraRed, SWIR) (1.3-2.5 μm): in un'area densamente vegetata prima dell'incendio, il segnale registrato aumenta quando l'area brucia poiché diminuisce l'assorbimento della radiazione dovuto all'acqua presente nelle cellule vegetali.
- Infrarosso termico (Thermal InfraRed, TIR) (8.0-14.0 μm): subito dopo l'incendio il segnale emesso è più alto per l'elevata temperatura della superficie, tuttavia tende a diminuire rapidamente nel tempo limitando l'utilità di questa regione spettrale.

La figura 1a mostra un esempio di risposta spettrale di una superficie percorsa da incendio (comune di Olbia, 27 giugno 2005) come rilevata 60 giorni dopo l'evento dal sensore ASTER (RGB: 832 SWIR-NIR-Rosso). Il grafico (fig. 1b) rappresenta i valori dei pixel nelle tre bande ASTER SWIR, NIR e Rosso lungo un transetto (linea tratteggiata in giallo) trasversale all'area bruciata. Si può notare che in corrispondenza dell'area bruciata, il segnale nel SWIR (2.3 μm , in rosso) aumenta rispetto ai valori tipici della vegetazione rilevabili nelle aree adiacenti e non bruciate, mentre il segnale nel NIR (0,8 μm , in verde) diminuisce; invece il segnale nel Rosso (0,65 μm , in blu) non subisce variazioni in corrispondenza dell'area bruciata. Quindi il

contrasto tra le bande SWIR e NIR può risultare fondamentale per discriminare gli incendi.

La risposta spettrale delle superfici percorse da incendi non è sempre univoca; in particolare essa risulta influenzata da alcuni fattori come:

- intensità dell'incendio, che influisce sulla quantità di biomassa bruciata e sulla composizione dei prodotti di combustione;
- distanza temporale fra data dell'incendio e data di acquisizione dell'immagine;
- tipo e stato della vegetazione dell'ecosistema coinvolto.

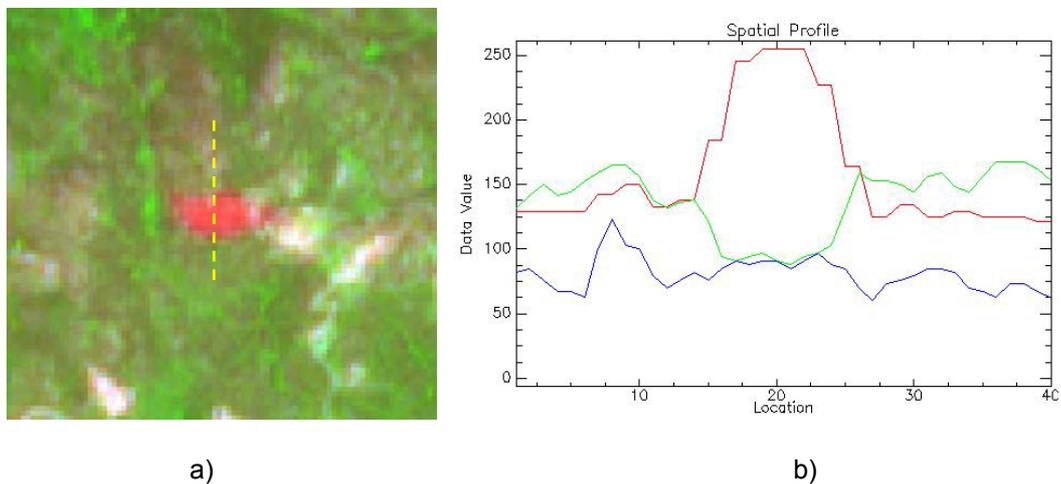


Figura 1. a) Rappresentazione in falsi colori (ASTER, RGB: 832) dell'incendio avvenuto nel comune di Olbia il 27/06/2005. b) Diagramma spettrale del transetto (rosso: SWIR, verde: NIR, blu: rosso) lungo la linea tratteggiata in giallo.

3.3 Delimitazione delle aree percorse da incendio

Le principali tecniche di analisi d'immagine utilizzate per la delimitazione delle aree percorse da incendio si possono raggruppare nelle categorie seguenti:

- tecniche basate sul concetto di "sogliatura" sia utilizzando una singola immagine post-incendio, sia utilizzando serie multi-temporali di immagini. L'analisi di una singola immagine post-incendio si basa sul possibile contrasto spettrale esistente fra aree bruciate e le altre coperture al momento della ripresa dell'immagine. L'utilizzo di

immagini multi-temporali, ove siano disponibili, si basa sull'analisi delle differenze fra le immagini pre- e post-incendio, sfruttando le informazioni relative al drastico cambiamento di risposta spettrale causato dal passaggio del fuoco. Il cambiamento si misura tra il segnale dell'area bruciata e quello della copertura della superficie precedente l'incendio in contrasto con il caso di assenza di incendio in cui il segnale è poco variabile (area vegetata) o addirittura invariante come nel caso delle aree urbanizzate. Questa tecnica riduce il rischio di confusione tra aree bruciate e superfici con caratteristiche spettrali simili, come per esempio l'acqua o le superfici non vegetate, tuttavia richiede un'adeguata co-registrazione geometrica e radiometrica fra le immagini per evitare errori di sovrastima o sottostima nella determinazione della superficie bruciata. Questo tipo di analisi ha anche dei costi maggiori per l'acquisizione delle immagini pre e post incendio sulla stessa area.

- metodi di "pattern recognition" sia di tipo senza supervisione, quali le tecniche di clustering, sia di tipo con supervisione parametriche e non parametriche. Nelle tecniche *unsupervised*, il riconoscimento della classe avviene da parte dell'esperto con un lavoro di interpretazione condotto e affinato a posteriori; nelle tecniche *supervised* lo sforzo di interpretazione è condotto dall'esperto prima dell'applicazione dei criteri decisionali, attraverso la fase di *training*.

- Interpretazione visuale

E' la tecnica più elementare perché consiste nell'analisi visiva dell'immagine, visualizzata con un'opportuna combinazione di bande che metta in risalto le aree bruciate, e nel rilievo manuale della superficie bruciata. Noto il fatto che le bande migliori per discriminare le aree bruciate sono quelle dell'infrarosso a onde corte e vicino, la combinazione migliore risulta essere composta da queste due bande in aggiunta ad una banda del visibile o dell'infrarosso termico (se disponibile e se l'immagine è stata acquisita a breve distanza temporale dall'incendio) (Tab 3.3). Il limite principale di questa tecnica è il peso della soggettività dell'esperto che identifica le aree bruciate ed il tempo richiesto che diventa oneroso nel caso di ampi dataset. Tuttavia essa costituisce uno strumento indispensabile per l'applicazione

delle altre metodologie sia nella fase di valutazione dei risultati, sia, in alcuni casi, anche nella fase di addestramento del sistema di analisi.

Tabella 3.3 – Tipiche combinazioni RGB utili per il riconoscimento delle aree bruciate

Landsat TM	ASTER	Descrizione
4-3-2	3-2-1	aree bruciate in grigio, vegetazione in rosso
7-4-3	8-3-2	aree bruciate in rosso, vegetazione in verde
6-4-7	14-3-8	aree bruciate in rosso, vegetazione in verde
5-4-2	4-3-1	aree bruciate in nero, vegetazione in verde
7-3-2	5-4-1	aree bruciate in marrone, vegetazione in verde
4-7-5	3-8-4	aree bruciate in verde, vegetazione in fucsia

- Analisi delle componenti principali

Non è una vera e propria tecnica di classificazione, bensì una tecnica di miglioramento (“*enhancement*”) spettrale dell’immagine per un successivo processamento. Essa produce un nuovo *dataset* di bande non correlate fra loro, in cui le prime componenti contengono la maggior parte della varianza dell’informazione spettrale delle bande originali. Può essere applicata sia per un’analisi multitemporale, sia per l’analisi di una singola immagine post-incendio. Le componenti di primo grado contengono la maggior parte della varianza associata ai *digital numbers* delle bande originali e quindi rappresentano le coperture stabili, che hanno una risposta spettrale omogenea. Le aree bruciate invece, essendo una copertura non stabile, vengono rilevate nelle ultime componenti (Pereira et al., 1992).

- Trasformazione IHS (Intensity, Hue, Saturation)

Anche la trasformata IHS è una tecnica di miglioramento (“*enhancement*”) spettrale per una successiva classificazione dell’immagine basata su una sogliatura delle bande. Nel modello di rappresentazione dei colori IHS, l’informazione spaziale è portata dalla componente intensità, mentre l’informazione spettrale è separata nelle componenti tinta e saturazione. Koutsias et al. (2000) hanno applicato questa tecnica per la mappatura di un incendio in Grecia, utilizzando un’immagine Landsat TM post-incendio. La componente tinta (hue) è quella che ha riportato la maggiore

separabilità fra la classe 'bruciato' e 'non bruciato': per delimitare l'area bruciata si dovrà quindi applicare un'opportuna soglia a questa componente.

- **Indici spettrali di vegetazione:**

Gli indici di vegetazione vengono calcolati come combinazioni di due o più bande delle immagini satellitari per sintetizzare l'informazione portata da sensori multispettrali.

Alcuni degli indici più utilizzati per la mappatura degli incendi sono:

- **NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*):** è l'indice spettrale più noto ed utilizzato per il monitoraggio della vegetazione da telerilevamento;
- **GEMI (*Global Environmental Monitoring Index*)** è un indice sensibile allo stato generale della vegetazione, ideato per minimizzare l'effetto atmosferico e di background del suolo (Pereira, 1999; Chuvieco et al., 2002);
- **NBR (*Normalized Burnt Ratio*):** è un indice del contenuto d'acqua delle piante che rileva la presenza di vegetazione bruciata (Csiszar et al., 2005; Roy et al., 2005; Garcia e Chuvieco, 2004);
- **BAI (*Burned Area Index*):** identifica le aree bruciate mettendo in evidenza il segnale del materiale depositato al suolo dopo l'incendio (Garcia e Chuvieco, 2004; Chuvieco et al., 2002).

Questo approccio prevede una opportuna scelta di valori di soglia da applicare direttamente sull'immagine post incendio oppure anche un confronto fra i valori dell'indice prima e dopo l'incendio tramite l'applicazione di una soglia nota o ricalibrata, oppure come componente di un approccio di classificazione multi-criterio.

- **Classificazione con supervisione:**

E' stata applicata soprattutto ad immagini Landsat TM, con la tecnica *Maximum Likelihood* e l'algoritmo del parallelepipedo (Hudak, 2004). La classificazione Maximum Likelihood è una tecnica statistica che ha alla base il teorema di Bayes sulle probabilità (Brivio et al., 2006). Per minimizzare gli errori, prima della classificazione vera e propria solitamente si applica una trasformazione (ad esempio le componenti principali) o una maschera per ridurre la confusione spettrale con le coperture che hanno un segnale simile a quello della vegetazione bruciata.

L'accuratezza dei risultati del processo di classificazione viene valutata su base statistica utilizzando un campione indipendente di pixel (insieme di test), in base al quale si costruisce la matrice di confusione e le successive misure di accuratezza. Una ulteriore fase di valutazione dei risultati ottenuti dall'analisi delle immagini da satellite avviene per confronto con dati esterni indipendenti, quali ad esempio le informazioni raccolte nei rilievi sul terreno, in particolare con quelle in forma vettoriale (poligoni), mediante tecniche di rilievo con GPS.

4. Base dati delle immagini satellitari

4.1 Le immagini ASTER

I dati acquisiti dal sensore ASTER vengono processati e archiviati dalla NASA per derivare prodotti a diversi livelli fra i quali sono stati scelti i prodotti di riflettanza al suolo per le bande VNIR e SWIR, corrette per l'effetto atmosferico (codice: "AST07-ASTER On-Demand L2 Surface Reflectance"). Ogni immagine copre un'area di 60x60 Km, in proiezione UTM. I DN (Digital Numbers) che costituiscono le bande sono rappresentati nella scala di valori interi fra 0 e 1000 per rappresentare il valore di riflettanza (0-1).

I dati possono essere scaricati tramite ftp dal sito web della NASA (EOS - Earth Observing System Data Gateway <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>) e sono costituiti, per ogni scena acquisita, da due files in formato HDF, uno per le bande VNIR (3 bande, 15 m, 184 Mbyte) e l'altro per le bande SWIR (6 bande, 30 m, 77 Mbyte), formando così un pacchetto di 261 Mbyte. Il nome del file identifica univocamente l'immagine e ne riporta le principali informazioni.

Ad esempio il nome "AST_07_00307272005102246_20060526074410_20017" contiene:

- definizione del tipo di prodotto ASTER e della versione (AST_07_003);
- data di acquisizione dell'immagine (07272005, ossia 27 luglio 2005);
- ora di acquisizione dell'immagine (102246, ossia 10:22:46 UTC);
- data di creazione del prodotto (20060526, ossia 26 maggio 2006);
- ora di creazione del prodotto (074410, ossia 07:44:10).

La prima fase del lavoro ha richiesto una analisi in rete della disponibilità in archivio dei dati ASTER relativi ai Parchi Nazionali. La scelta delle scene adatte allo scopo del progetto si è basata sui seguenti aspetti:

- dimensione e forma dei diversi Parchi,
- sovrapposizione di aree tra immagine e limiti dei Parchi,
- ridotta presenza di copertura nuvolosa,
- conoscenza della stagionalità e delle date degli incendi.

Grazie alla collaborazione con il Department of Geography (University of Maryland) attraverso il progetto "Refinement & Maintenance of the MODIS fire product suite"

che prevede tra l'altro di utilizzare le mappe di aree percorse da incendio ottenute da questo progetto per una valutazione dei prodotti Burnt Areas ottenute da MODIS, è stato possibile accedere alle immagini ASTER in modo gratuito.

Sono state scelte ed acquisite via ftp 490 immagini ASTER relative al periodo 2001-2005 e suddivise nei Parchi Nazionali come mostrato in Tabella 4.1. Poiché ogni immagine occupa uno spazio di circa 261 MByte, si ha una mole di dati "grezzi" pari a 123 GByte archiviati su computer CNR.

Tabella 4.1 – Numero delle immagini ASTER acquisite per Parco Nazionale e per anno.

PARCO NAZIONALE	Superficie a terra (ha)	2001	2002	2003	2004	2005	totale
Gran Paradiso	70.318	4	6	3	12	1	26
Val Grande	11.340	1	2	2	1	2	8
Stelvio	133.325	5	9	6	3	6	29
Dolomiti Bellunesi	15.132	1	4	10	2	1	18
Cinque Terre	3.860	3	4	7	4	2	20
Arcipelago Toscano	16.856	4	2	7	3	3	19
Appennino Tosco Em.	22.792	3	10	6	5	1	25
Foreste Casentinesi	31.038	1	1	8	1	1	12
Monti Sibillini	69.722	2	7	5	2	2	18
G. Sasso e M. Laga	141.341	4	8	7	3	6	28
Majella	62.838	2	6	4	3	6	21
Abruzzo Lazio e Molise	49.680	2	1	5	4	5	17
Circeo	5.616	3	2	3	1	3	12
Vesuvio	7.259	2	4	2	5	4	17
Cilento e V. Di Diano	178.172	5	3	11	13	4	36
Gargano	118.144	4	4	7	10	1	26
Pollino	171.132	5	8	21	10	1	45
Sila	73.695	4	2	8	2	2	18
Aspromonte	76.053	6	6	10	4	0	26
Asinara	5.170	2	1	1	1	2	7
La Maddalena	5.100	2	2	7	1	2	14
Orosei e Gennargentu	79.935	3	6	7	6	4	26
Alta Murgia	68.656	4	7	7	6	1	25
TOTALE	1.417.174	72	105	154	102	60	493

Evidenziati in giallo nella Tabella, il numero di immagini dei PN negli anni per cui esistono poligoni GPS/CFS per un confronto delle aree bruciate; per la quantità di immagini disponibili risulta interessante l'anno 2004 per 3 PN.

Per ogni immagine acquisita, il primo passo è stato quello di ricampionare a 15 m le bande SWIR in modo che abbiano la stessa risoluzione geometrica delle bande VNIR, e di accorparle in un unico file di 9 bande per essere processato con un software di elaborazione per immagini.

Le immagini ASTER acquisite e altri dati a disposizione, quali i rilievi a terra e la mappa di copertura del suolo, sono stati raccolti in un database in ArcGIS (ESRI@ArcGIS 9.1). La costruzione di una database del progetto è un passo fondamentale di archiviazione ed integrazione delle informazioni che permette di interrogare il sistema per verificare la disponibilità di dati per un qualsiasi punto dello spazio e un qualsiasi momento del periodo di interesse. Un sistema di questo tipo può inoltre essere interrogato per la ricerca di dati in base a criteri scelti dall'utente.

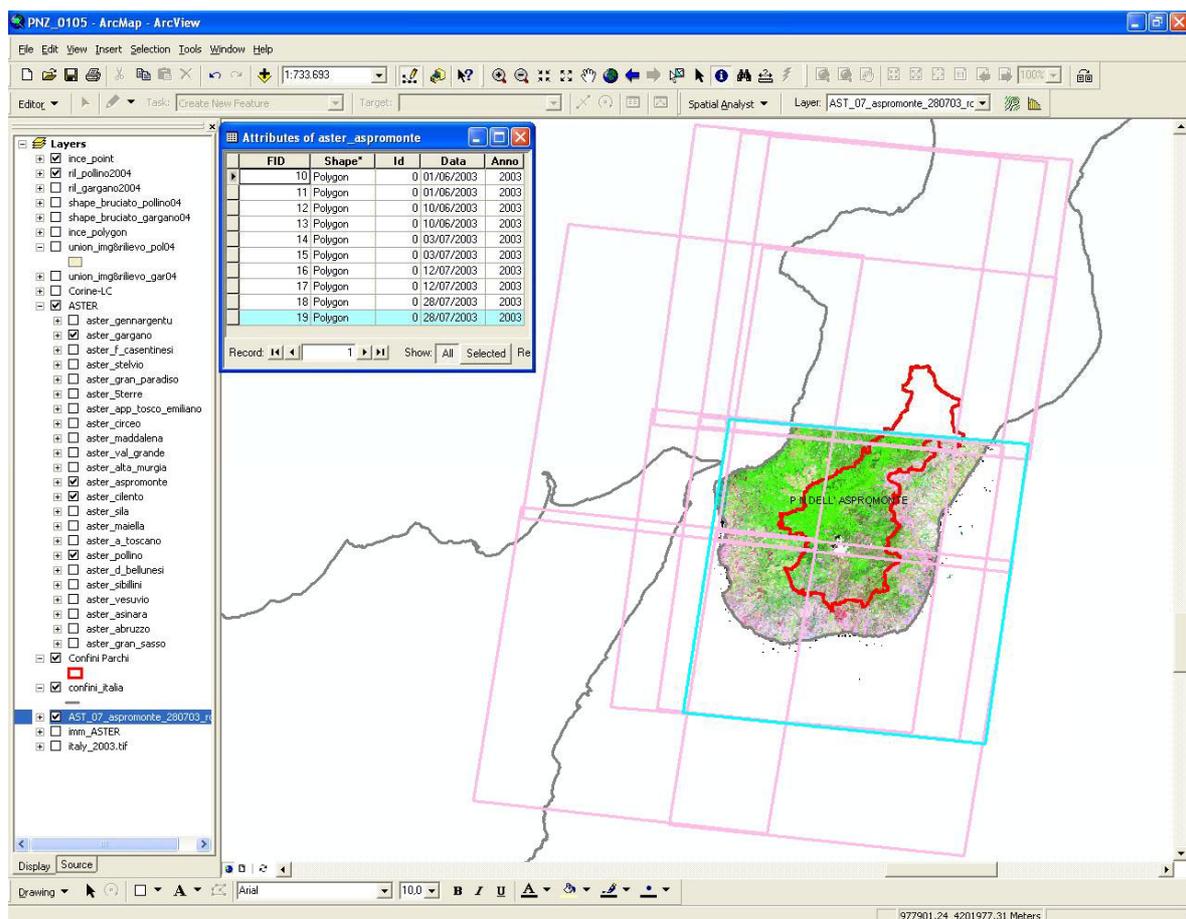


Figura 2. GIS dei dati ASTER per i Parchi nazionali. Nell'esempio i confini del Parco Nazionale dell'Aspromonte con sovrapposte le immagini ASTER che lo interessano e con visualizzata la scena del 28 luglio 2003.

Per esempio, per un parco scelto è possibile verificare il numero ed il grado di copertura delle immagini ASTER e la disponibilità di rilievi a terra per un dato anno ed allo stesso tempo visualizzare le aree bruciate rilevate da satellite al di sopra di una data dimensione (fig. 2). Nonostante l'elevato numero di immagini archiviate nel database del CNR, permangono delle zone o dei periodi non completamente coperti dalle immagini ASTER.

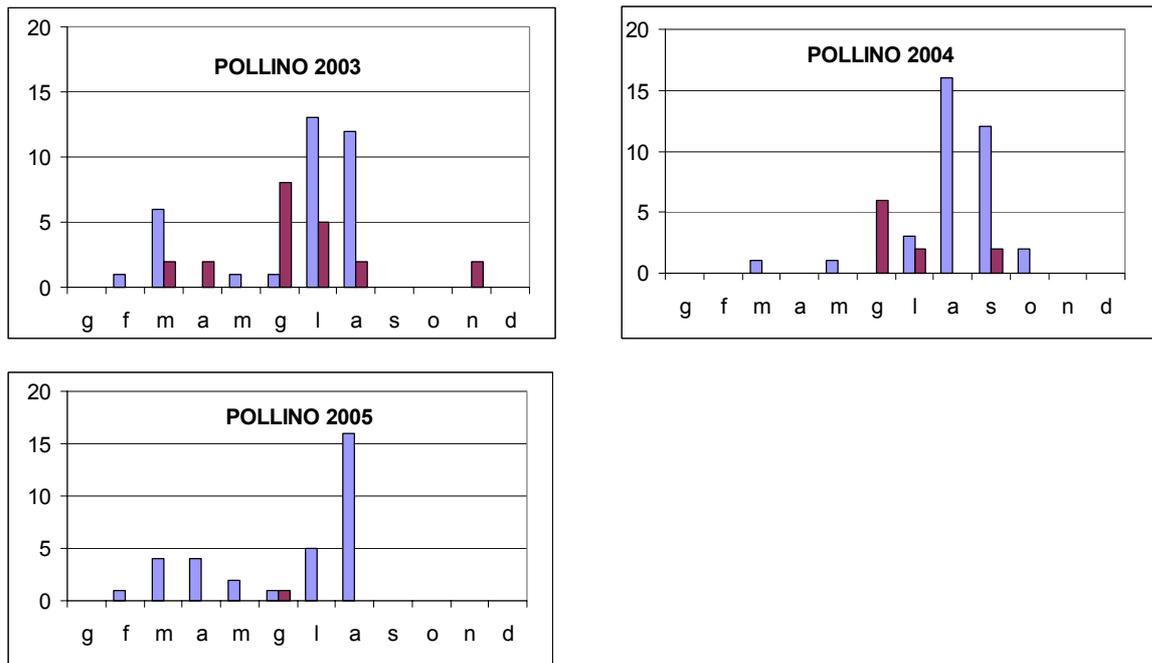


Figura 3. Confronto fra distribuzione temporale del numero di incendi (data base punti CFS, in blu) e del numero di immagini ASTER disponibili (in amaranto): esempio relativo al Parco Nazionale del Pollino negli anni 2003, 2004 e 2005.

L'esempio riportato in figura 3 evidenzia come possano esserci situazioni favorevoli di immagini acquisite al "momento giusto" nel corso della stagione, e altri casi in cui la parte centrale del fenomeno incendi non è coperta. Tale situazione varia da parco a parco anche in funzione della loro estensione e forma.

Per integrare la base di dati si sono attivate le procedure per l'acquisizione di immagini ASTER su richiesta. La richiesta è stata accettata alla fine di novembre 2006 e prevede l'accesso a 11 scene aggiuntive ASTER ("... your resource allocation will be 40,000sq-km, approximately 11 good ASTER scenes, each 60 km by 60 km" Leon Maldonado Jr., ASTER Project Science Coordinator, NASA Jet Propulsion Laboratory).

4.2 Le immagini SPOT

Per ovviare al numero limitato di immagini disponibili per il 2005, in particolare per alcuni PN del sud, si è attivata una soluzione di back-up mediante la ricerca di dati di altri satelliti. In particolare, è stata inviata la richiesta di accesso all'Archivio SPOT attraverso l'iniziativa europea Optimising Access to Spot Infrastructure for Science (OASIS) presentando una proposta di ricerca. A seguito dell'approvazione da parte del Comitato Scientifico di esperti a livello europeo, sono state acquisite per il 2005 19 immagini dei satelliti SPOT: 4 immagini SPOT2, 9 immagini SPOT4 e SPOT5 per i PN Gargano, Pollino, Cilento e Aspromonte (Tab 4.2).

Tabella 4.2 Dettaglio delle immagini SPOT acquisite per il progetto.

Parco	DATA	NOME IMMAGINE	SPOT
CILENTO (4)	10/05/2005	50722690505101011581J0	5
	22/05/2005	50742690505220941002J0	5
	26/08/2005	20732690508260948002X0	2
	10/10/2005	4072269051010095747110	4
GARGANO (3)	02/08/2005	50722660508020954532J0	5
	09/08/2005	4073266050809095003110	4
	16/09/2005	20722660509160944061X0	2
POLLINO (6)	09/08/2005	4076270050809095034110	4
	20/08/2005	4075269050820093844110	4
	20/08/2005	4076270050820093852110	4
	15/10/2005	4075270051015100141110	4
	17/10/2005	20752690510170948532X0	2
	17/10/2005	20752700510170949022X0	2
ASPROMONTE (6)	12/06/2005	50762730506120937211J0	5
	26/06/2005	50762730506261007561J0	5
	08/07/2005	50762730507080936551J0	5
	15/08/2005	4076273050815093528210	4
	15/08/2005	4076274050815093536210	4
	31/10/2005	4075273051031095416210	4

E' opportuno ricordare le specificità dei 3 satelliti SPOT, che hanno un particolare impatto sul rilevamento degli incendi. Per maggiori dettagli sulle caratteristiche di questo dato satellite si può consultare il sito <http://www.spotimage.fr>.

	Banda spettrale	SPOT 2	SPOT 4	SPOT 5
B1	0.49 - 0.61 μm verde	20 m	20 m	10 m
B2	0.61 - 0.68 μm rosso	20 m	20 m	10 m
B3	0.78 - 0.89 μm NIR	20 m	20 m	10 m
SWIR	1.58 - 1.75 μm SWIR	==	20 m	20 m

La base di dati satellitari ottenuta integrando diversi sensori ha permesso di raccogliere un numero elevato di scene per coprire i PN di tutto il territorio nazionale per il periodo 2001-2005 come sintetizzato dalla figura 4.

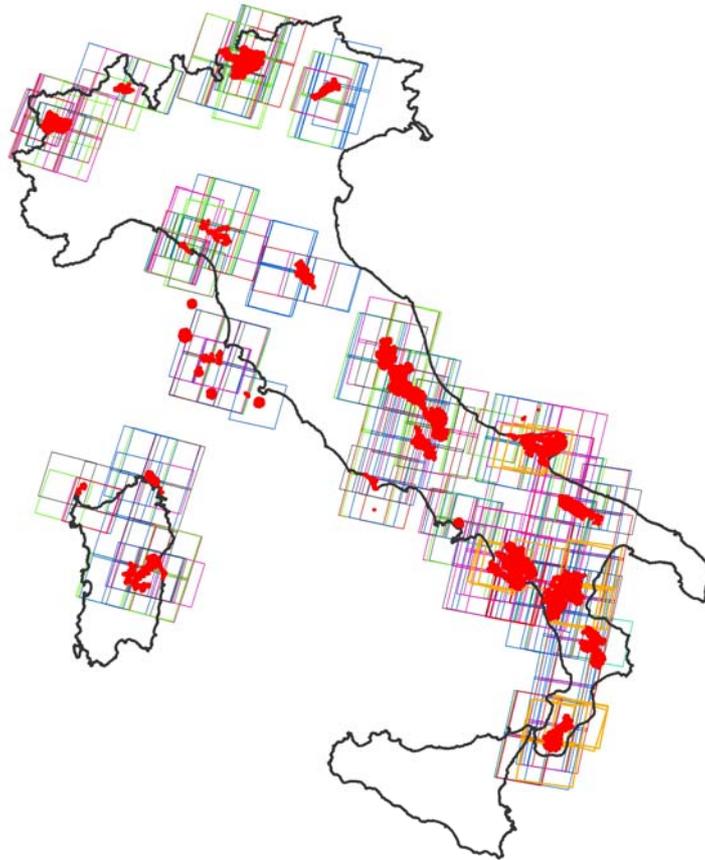


Figura 4. Sintesi delle immagini da satellite acquisite dal progetto sui Parchi Nazionali per il periodo 2001-2005.

5. Definizione della metodologia di analisi

La messa a punto della metodologia più adatta si è basata su una revisione dei metodi presenti in letteratura (§3.3) ed una serie di sperimentazioni condotte dapprima sulla regione della Gallura e successivamente, per un affinamento ed una prima valutazione dei risultati, sui PN del Gargano e del Pollino.

5.1 Il caso di studio della Gallura

La prima sperimentazione è stata condotta su alcune immagini ASTER della Gallura (distretto di Olbia) relative all'estate 2004 e 2005. Questa zona è stata scelta come caso di studio perché, fin quasi dall'inizio del progetto, erano disponibili dei dati di riferimento a terra sugli incendi forniti dal Ministero, e perché le condizioni ambientali ben si prestano allo studio.

Sono state acquisite inizialmente le immagini ASTER delle seguenti date:

- 1 maggio e 27 luglio 2005 (comprendente il Parco Nazionale della Maddalena)
- 18 agosto 2004 (due immagini adiacenti sulla stessa orbita).

Dall'immagine del 27/07/05 (fig. 5) è stata ritagliata una finestra di dimensioni ridotte su cui testare in modo speditivo alcuni degli approcci descritti in 3.3.

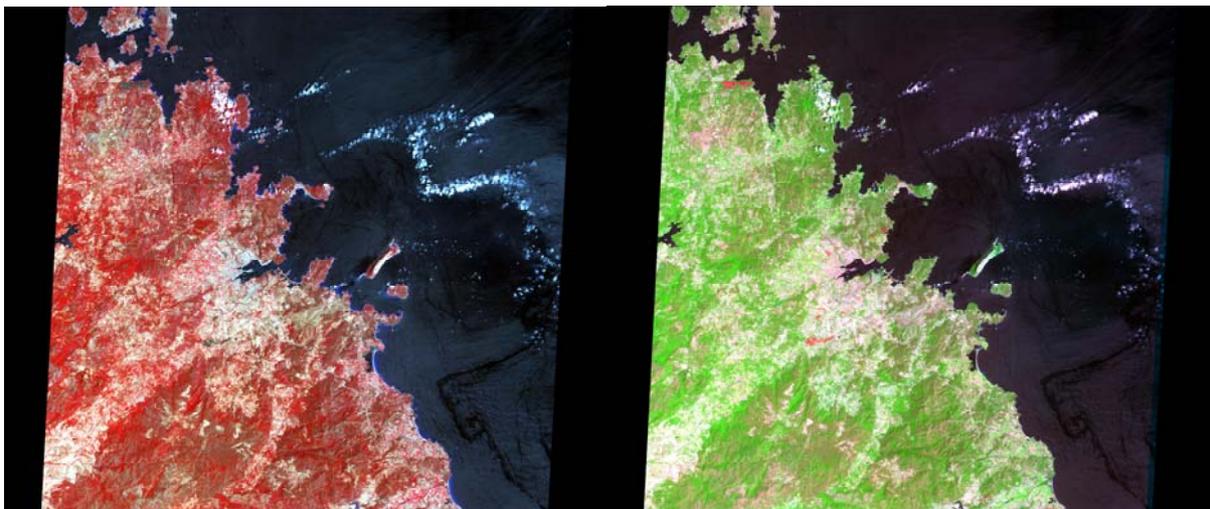


Figura 5. Immagine della Gallura ripresa dal sensore ASTER nella data del 27/07/05. Rappresentazione in Falsi Colori (a) RGB: 321 e (b) RGB: 832. Le aree percorse da incendio appaiono in colore rosso (b) nella combinazione che utilizza anche la banda SWIR.

Per la data del 18/08/04 è stata invece prodotto un mosaico di 2 immagini adiacenti (fig. 6), per una prima verifica dell'applicazione dei metodi sperimentati in precedenza e per confrontarli con i dati a terra disponibili.

Dai dati relativi ai rilievi a terra è stato creato uno shape file contenente le coordinate, la data dell'intervento del Corpo Forestale, il giorno giuliano e la superficie dell'area bruciata in ettari. Lo shape file è stato sovrapposto all'immagine, considerando solo gli incendi antecedenti la data dell'immagine e solo quelli superiori ad 1 ettaro (con una interrogazione sul database).



Figura 6. Mosaico di due scene della Gallura riprese dal sensore ASTER nella data del 18/08/04. Rappresentazione in Falsi Colori RGB: 832. Ben visibile una grande area percorsa da incendio nelle vicinanze di Olbia.

Da questo primo confronto visuale sono emerse due osservazioni:

- le coordinate dei dati a terra puntuali identificano una posizione non sempre direttamente connessa con l'area percorsa da incendio (esterna al perimetro dell'area bruciata);
- non tutti gli incendi visibili sull'immagine ASTER sono stati registrati nel database dei rilievi effettuati a terra;
- non tutti gli incendi rilevati a terra sono visibili sulle immagini: la differenza temporale tra evento e acquisizione dell'immagine gioca un ruolo importante, in particolare in certi ecosistemi in cui la copertura vegetale può rigenerarsi in tempi brevi.

In questa fase sono state sperimentate alcune delle tecniche riportate in letteratura ed, in particolare, sono state applicate: interpretazione visuale, classificazione maximum likelihood, sogliatura degli indici spettrali NBR , BAI , GEMI e della componente tinta (Hue) della trasformata IHS.

Interpretazione visuale

L'interpretazione visuale è stata realizzata sulla finestra di zoom dell'immagine nella rappresentazione in falsi colori RGB:832 (SWIR, NIR, rosso), analizzata in combinazione o in alternanza con la rappresentazione RGB:321 (NIR, rosso, verde). Il livello di zoom varia in funzione della dimensione dell'area incendiata da visualizzare e delimitare a video, con un valore minimo tale da non provocare una visione "in pixel" dell'immagine. Con l'ausilio di un software adatto allo scopo (ENVI 4.3, Research System Inc., Boulder, Colorado, USA), sull'immagine si sono tracciati a video i poligoni che rappresentano i perimetri delle aree percorse da incendio.

L'interpretazione visuale dell'immagine permette all'esperto di escludere le eventuali zone incombuste all'interno dell'area, che nel calcolo delle superfici vengono sottratte al poligono dell'area bruciata, e di distinguere nella fascia di transizione bruciato e non bruciato con un buon grado di accuratezza (fig. 7 e 8).



Figura 7. Immagine ASTER del 27 luglio 2005 (RGB: 832) e zoom sull'area dell'incendio nel comune di Palau registrato in data 23 luglio 2005. In bianco il limite tracciato mediante interpretazione visuale. Superficie rilevata a terra (dati CFS): 240 ha; superficie derivata da satellite 217 ha.

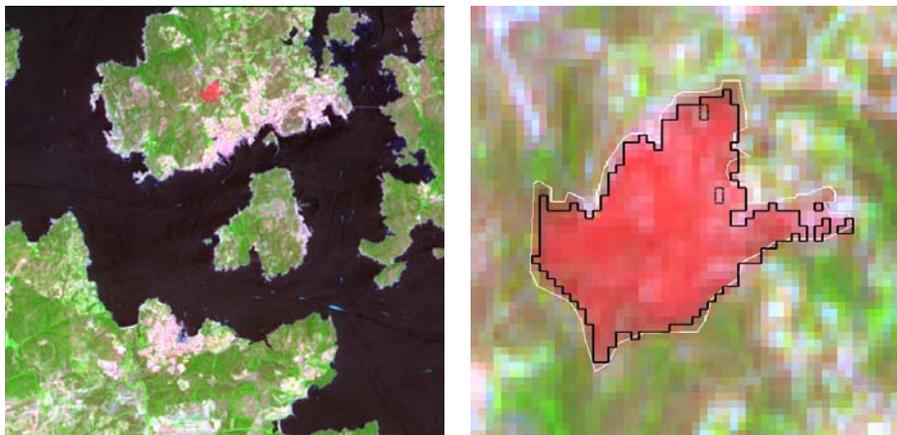


Figura 8. Immagine ASTER del 27 luglio 2005 (RGB: 832) e zoom sull'area dell'incendio nel Parco della Maddalena registrato in data 9 luglio 2005. In bianco il limite tracciato mediante interpretazione visuale e in nero il perimetro ottenuto dalla classificazione Maximum Likelihood.

Nell' immagine del 18/08/2004 dei 10 incendi presenti nel data base e antecedenti alla data dell'immagine, 9 incendi (per una superficie pari 1174 ha, calcolo in ArcMap), sono stati rilevati e 1 non rientra nell'area coperta dalla scena acquisita.

Nell' immagine del 27/07/2005, dei 15 incendi presenti nel data base e antecedenti alla data dell'immagine, sono stati rilevati 14 incendi per una superficie di 364 ha e 1 non rilevato è relativo ad un incendio verificatosi in giugno. La visibilità (capacità di discriminare tra superficie bruciata e superficie non bruciata) dipende anche dal tempo trascorso tra la data dell'incendio e la data di acquisizione dell'immagine.

Nei metodi semi-automatici descritti di seguito, nel calcolo delle aree in ArcMap (ESRI®ArcMap 8.3) sono stati esclusi tutti i poligoni costituiti da pixel singoli (area pari a 0.0225 ha), spesso assimilabili a rumore.

Classificazione supervised (Maximum likelihood)

Per l'applicazione di questo metodo sono state scelte 7 classi di copertura del suolo (bruciato, acqua, nuvole, ombra delle nuvole, urbanizzato, vegetazione e suolo nudo) e, dopo aver selezionato i pixel di training e di test, l'algoritmo è stato applicato a tutta l'immagine.

Immagine del 27/07/05

La validazione statistica della qualità dei risultati (fig. 9) condotta sui pixel di test, attraverso il calcolo della matrice di confusione, indica un'accuratezza globale del 92% e un coefficiente di accordo k pari a 0.9 (valore ottimo 1). Il coefficiente di accordo "kappa" indica il miglioramento introdotto dalla classificazione rispetto ad un'assegnazione casuale di una classe a ciascun pixel: un valore superiore a 0.8 indica un ottimo accordo tra la classificazione ed i dati di riferimento per il confronto.



Figura 9. Ritaglio dell'immagine ASTER del 27 luglio 2005. Nella classificazione Maximum likelihood, in rosso sono indicate le aree percorse da incendio. Legenda: vegetazione = verde; urbanizzato = arancio; suolo nudo = bianco; nuvole = violetto; ombra = giallo; acqua; ciano.

Da un controllo visuale si sono osservati errori di classificazione dovuti ad una confusione fra la classe bruciato e l'ombra delle nuvole, la strisciata lasciata dalle barche, l'urbanizzato e le linee di costa. Per ridurre questo tipo di errori, si è deciso di applicare a tutta l'immagine una maschera, utilizzando la Corine Land Cover (CLC), per escludere le classi non interessate da incendi oggetto di questo studio; le classi mascherate sono riportate in tabella 4.2.

La superficie percorsa da incendio ottenuta dalla classificazione senza la maschera è di 352 ha, mentre da quella con la maschera è di 318 ha.

Tabella 4.2 – Classi della Corine Land Cover utilizzate come maschera.

CODICE	SIGNIFICATO	CODICE	SIGNIFICATO
111	tessuto urbano continuo	331	spiagge, dune, sabbia
112	tessuto urbano discontinuo	332	roccia nuda, rupi, affioramenti
121	aree industriali e commerciali	421	lagune interne
123	aree portuali	512	bacini artificiali
		513	mari e oceani

Bisogna osservare che il livello di dettaglio della CLC non è adatto alla risoluzione spaziale dell'immagine ASTER. Un esempio è dato dalla figura 10, dove nella classificazione ottenuta con la maschera (C) la parte di area bruciata vicino alla città viene erroneamente mascherata, causando una sottostima della superficie totale percorsa dal fuoco.

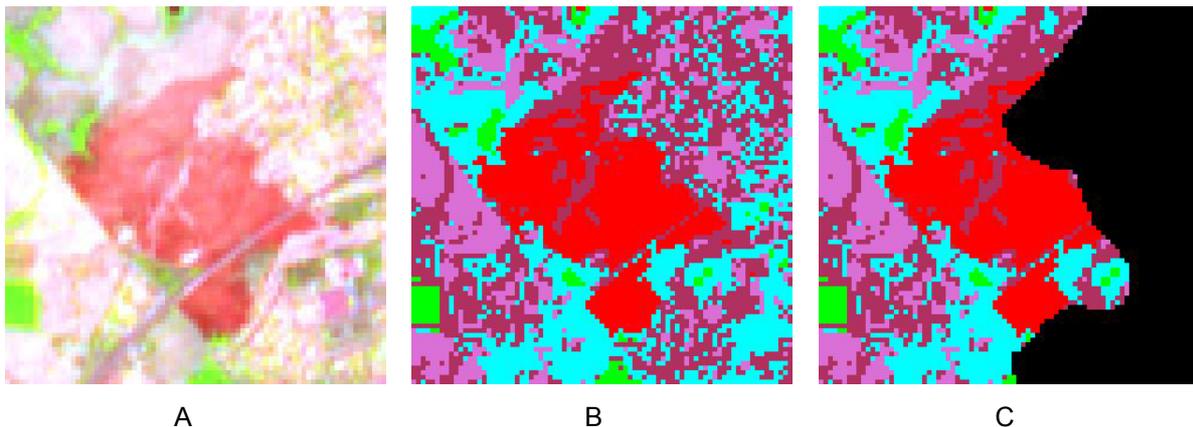


Figura 10. Immagine ASTER del 27-07-2005 riferita agli incendi di Olbia del 30/06/05 (20 ha, sopra la strada, fonte CFS) e del 17/07/05 (5 ha, fonte CFS). Errori di sottostima dell'area incendiata causati dalla insufficiente risoluzione della Corine Land Cover utilizzata come maschera. A) immagine RGB 832; B) immagine classificata Maximum-likelihood; C) immagine classificata con la maschera CLC.

Immagine del 18/08/04

La classificazione di questa immagine è stata realizzata usando le stesse 7 classi:

- la classificazione senza maschera fornisce 1042 ha di area bruciata,
- mentre con la maschera si ottengono 1035 ha.

In questo caso, nella classificazione Maximum Likelihood si sono osservati errori nel distinguere la classe bruciato dall'urbanizzato e l'urbanizzato dalle nuvole o dal suolo nudo.

Indice BAI

L'indice spettrale BAI (Burned Area Index), definito da Martin (1998), si calcola come l'inverso della distanza spettrale di ogni pixel rispetto ad un valore di riferimento:

$$BAI = \frac{1}{(\alpha - RED)^2 + (\beta - NIR)^2}$$

dove i parametri α (0.1) e β (0.06) rappresentano i valori di riferimento per le riflettività nel rosso e nel NIR. Questo indice identifica le aree bruciate mettendo in evidenza il segnale del materiale (*charcoal*) che si deposita al suolo dopo l'incendio. Scegliendo un opportuno valore di soglia per l'indice BAI è possibile mettere in evidenza le aree percorse da incendio.

Per l'immagine del 27/07/05, le aree bruciate hanno valori di BAI fra 0.4 e 4.2; tuttavia si è scelto un intervallo più conservativo fra 1.2 e 4.2, perché al di sotto del valore 1.2 si rilevano anche parti di suolo nudo. E' necessario ricordare che poiché i dati immagine sono in un range fra 0 e 1000, i valori di BAI sono stati opportunamente riscaldati.

Per l'immagine del 18/08/04 le aree bruciate hanno valori di BAI fra 0.5 e 2.5, ma, per lo stesso motivo sopra citato, la soglia applicata è fra 0.8 e 2.5.

L'indice BAI tende a sovrastimare le aree bruciate (errori di commissione): i pixel rappresentanti acqua (mare, fiumi, bacini interni) o ombra delle nuvole vengono inclusi fra le aree bruciate. Al contrario, i risultati mostrano che le soglie scelte permettono di separare correttamente i pixel di urbanizzato e nuvole.

Si è osservato inoltre che le aree con una data di incendio più lontana dalla data dell'immagine vengono parzialmente rilevate dalla soglia applicata, poiché sono

caratterizzate da un basso valore di BAI molto vicino a quello del suolo nudo. Una soglia conservativa dell'indice BAI, se da una parte riduce il rischio di errori di confusione, dall'altra introduce una sottostima dell'area bruciata come evidenziato in fig. 11 dove solo una parte dei pixel bruciati sono classificati come tali (pixel in rosso nella fig. 10b). L'errore di sottostima è particolarmente evidente nella parte di area bruciata il 30/06/05 rispetto a quella bruciata in data più vicina (17/07/05) alla data di acquisizione dell'immagine ASTER (27/07/05).

Per le due immagini in esame sono stati calcolati due valori di superficie bruciata:

- applicando l'indice senza maschera;
- applicando l'indice con la maschera della CLC (classi in Tab. 7);

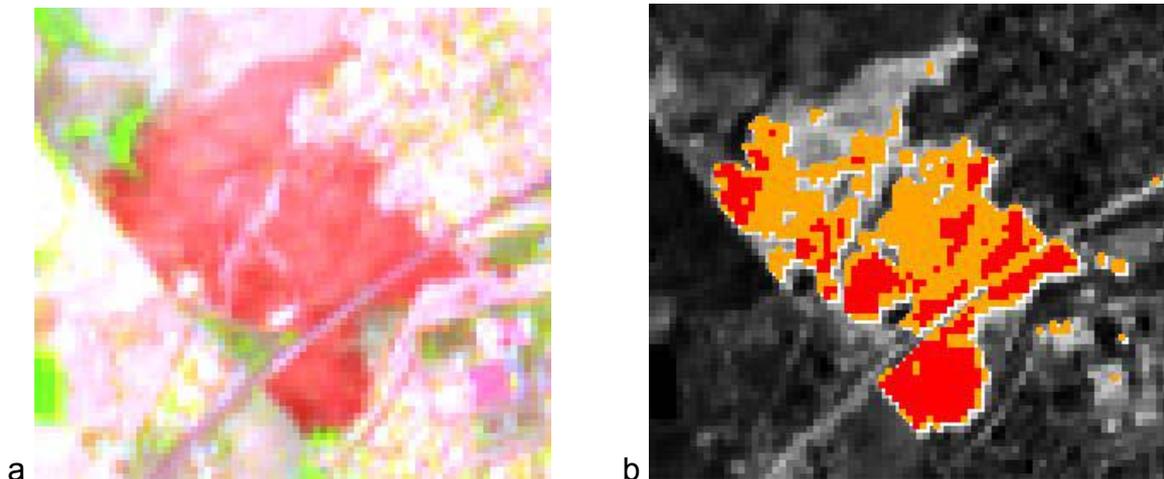


Figura 11. Immagine ASTER del 27/07/05 (a) e applicazione della soglia dell'indice BAI (b). In rosso i pixel che soddisfano la condizione più conservativa per l'identificazione delle aree bruciate.

Indice NBR

L'indice NBR (Normalized Burned Ratio) è definito come:

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

Poiché il sensore ASTER ha diverse bande spettrali nella regione dello SWIR, in questo studio l'indice NBR è stato calcolato in due modi diversi, usando le bande 3 (NIR: 0.78-0.86 μm) e 5 (SWIR1: 1.6-1.7 μm) e le bande 3 e 8 (SWIR5: 2.295-2.365 μm).

Per le due immagini in esame, le aree bruciate corrispondono ai valori NBR compresi nell'intervallo -0.25 e 0.

Da un'analisi visiva, si è notato che l'indice NBR basato sulle bande 3-5 presenta più errori di commissione, poiché individua come aree bruciate molti più pixel di acqua rispetto a quello basato sulle bande 3-8. L'indice NBR (bande 3-8) si comporta invece in modo più conservativo perché presenta più errori di omissione, tende cioè a sottostimare l'area bruciata (fig. 12).

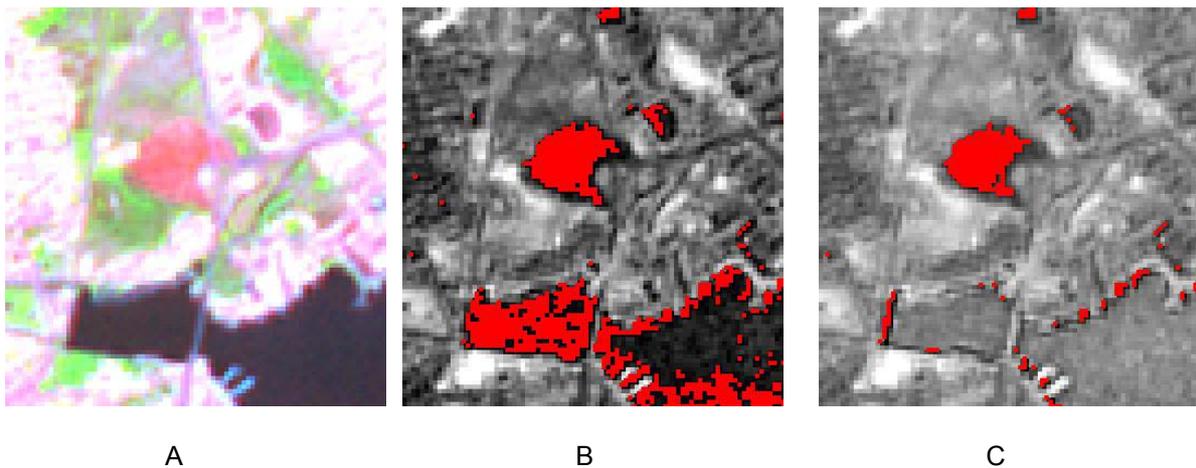


Figura 12. Esempio della delimitazione sull'immagine ASTER del 18/08/04 con soglia dell'indice NBR: A) ritaglio dell'immagine originale in combinazione RGB 832, B) classificazione sull'indice NBR 35, C) classificazione sull'indice NBR 38. Questo ultimo separa in particolare le superfici d'acqua.

Per le due immagini in esame sono stati calcolati tre valori di superficie bruciata:

- applicando l'indice senza maschera;
- applicando l'indice con la maschera della CLC (classi in Tab. 7);
- applicando l'indice con la maschera della CLC, escluse le classi di urbanizzato 111 e 112.

Nella fig. 13, oltre all'immagine ASTER, è presentato il risultato della classificazione (NBR38) a cui sono stati sovrapposti i punti identificativi degli incendi forniti dal CFS. La figura mette in evidenza il problema già sottolineato della localizzazione dei riferimenti puntuali.

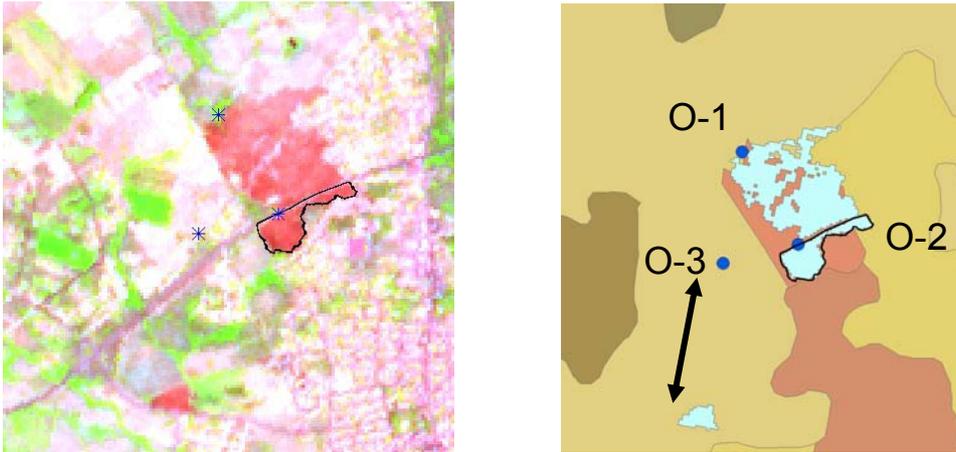


Figura 13. Applicazione dell'indice NBR38 all'immagine del 27/07/05 nella zona di Olbia.

Indici spettrali diversi, quindi, individuano specificatamente superfici diverse. L'indice BAI confonde come bruciato superfici di acqua e ombre, l'indice NBR confonde come bruciato superfici di urbanizzato e suoli, suggerendo la possibilità di combinarli insieme per migliorare il riconoscimento.

Differenza temporale Indice NBR (ΔNBR)

Avendo a disposizione un'immagine pre (01/05/05) e post-incendio (27/07/2005) è stata calcolata la differenza dell'indice NBR, utilizzando le bande 3 e 8. La differenza temporale dei valori dell'indice spettrale mette in evidenza le variazioni più significative, poiché le classi di copertura costanti hanno valori omogenei fra una data e l'altra, quindi una differenza di valore dell'indice trascurabile. La mappa delle aree bruciate è ottenuta applicando una soglia alla differenza dell'indice. Questo tipo di approccio minimizza la confusione con le classi che hanno una risposta spettrale simile al suolo bruciato (alcuni tipi di suoli, urbanizzato e acqua). La variazione temporale dell'indice NBR è definita come:

$$\Delta NBR = NBR_{PRE} - NBR_{POST}$$

Dopo il passaggio di un incendio l'indice NBR diminuisce, quindi ΔNBR aumenta. Per il caso studiato le aree bruciate hanno valori di ΔNBR compresi nell'intervallo fra 0.5 e 1; il valore minimo di tale intervallo varia in funzione della distanza temporale fra la data dell'incendio e quella dell'acquisizione dell'immagine. Poiché si è osservato che utilizzando come valore minimo 0,5 vengono comprese anche nuvole e suolo nudo,

si è scelto come valore minimo 0,65 ottenendo un intervallo più ristretto, preferendo sottostimare le aree bruciate pur di non avere degli errori di commissione.

Sulla base dello stesso principio è possibile calcolare anche il $\Delta BAI = BAI_{PRE} - BAI_{POST}$.

Sono stati inoltre sperimentati anche l'indice GEMI e la trasformata IHS.

Nelle due immagini prese in esame, le aree bruciate hanno un valore di GEMI compreso nell'intervallo fra -1 e 0: tale intervallo include però anche altri elementi quali linee di costa, alcune nuvole, spiagge, ombre e alcune aree urbanizzate (strade, pontili).

Nell'utilizzare la tecnica IHS si è dovuto cercare la combinazione di bande migliore analizzando gli istogrammi della banda H (tinta) della trasformata IHS dell'immagine. Fra le combinazioni di bande analizzate (832, 321, 431, 831, 541, 384) quelle che hanno mostrato potenzialità maggiori sono state le combinazioni 384 e 541.

Nel grafico di fig. 14 sono riportate, per le due immagini ASTER disponibili per la regione della Gallura, le differenze in ettari fra il valore complessivo fornito dai rilievi a terra (dati CFVA 2004: 836 ha; 2005: 352 ha) e le migliori stime delle aree bruciate ottenute da satellite per i 9 e 14 incendi rilevati per i rispettivi anni.

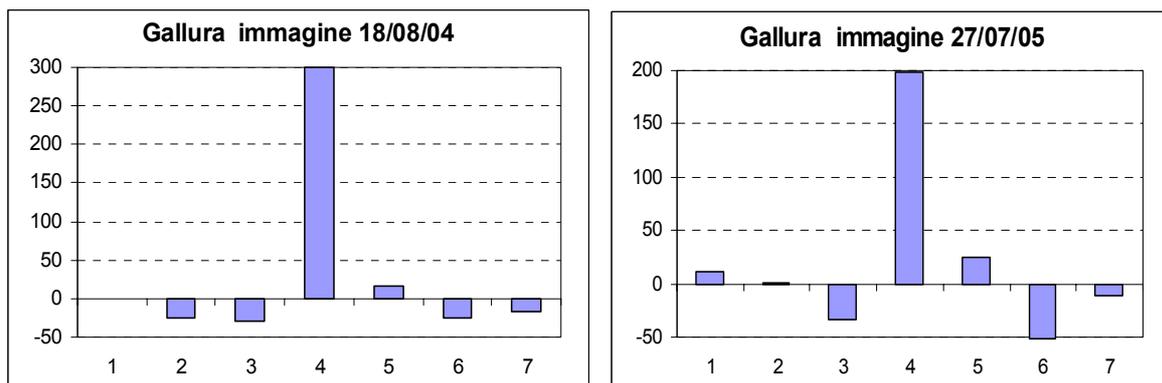


Figura 14. Immagini ASTER 18 agosto 2004 e 27 luglio 2005: differenza in ha fra superfici bruciate rilevate a terra (2004: 836 ha; 2005: 352 ha) e quelle ottenute da satellite con i diversi metodi sotto elencati.

- | | |
|--|------------------------------------|
| 1 - fotointerpretazione; | 2 - maximum-likelihood; |
| 3 - maximum-likelihood con maschera CLC; | 4 - indice BAI con maschera CLC; |
| 5 - indice NBR38; | 6 - indice NBR38 con maschera CLC; |
| 7 - indice NBR38 con maschera CLC (escluso urbanizzato 111 e 112). | |

Occorre osservare che per il grafico 2004, non è stato considerato l'incendio di Loiri Porto S. Paolo (24/07/2004, 700 ha). Le sue dimensioni sono tali da mascherare gli altri dati. Dalle immagini esso è risultato: 1020 ha (interpretazione visuale); 935 ha (Maximum Likelihood); 956 ha (NBR38).

Il caso di studio della Gallura ha messo in evidenza che i metodi semi-automatici sperimentati per la delimitazione delle aree percorse da incendio che hanno fornito risultati migliori sono Maximum Likelihood e la sogliatura degli indici BAI e NBR, che sono stati utilizzati quindi per Gargano e Pollino.

Gli altri metodi sperimentati hanno prodotto risultati non soddisfacenti per il grado di confusione tra superfici bruciate e non. Solo i primi sono stati quindi utilizzati nell'analisi successiva sui Parchi Nazionali del Gargano e del Pollino.

In generale mentre il metodo basato su Maximum Likelihood permette di includere più informazioni di tipo spettrale in un approccio statistico multi-variato, i metodi basati sugli indici meglio si prestano ad essere integrati in un sistemi multi-criterio più o meno sofisticato e complesso.

Tabella 4.3 – Valutazione comparativa dei diversi metodi.

Metodo	Costo tempo/immagini	Accuratezza	Generalizzabilità	Automatismo
Interpretazione visuale	Selezione poligoni a video	Alta precisione Influenza soggettività esperto	Nessuna, da applicare incendio per incendio	Non è possibile estrarre algoritmo automatico
MHL	Selezione pixel training	Buona precisione Confusione con ombra nuvole, urbano, acqua, suolo	Moderata, training per ogni immagine	Integrabile in un algoritmo semi-automatico (supervisionato)
BAI	Scelta range di valori	Accurato per nuvole e urbano Confusione con acqua e ombre Problema aree bruciate vecchie	Range applicabile a più immagini	Integrabile in un algoritmo automatico
NBR	Scelta range di valori	Accurato ombre e acqua Confusione con urbano, suolo	Range applicabile a più immagini	Integrabile in un algoritmo automatico
ΔBAI	Immagini pre e post incendio e coregistrazione Scelta range di valori	Accurato urbano, nuvole Confusione con acqua, ombre nelle immagini post	Range applicabile a più immagini	Integrabile in un algoritmo automatico
ΔNBR	Immagini pre e post incendio e coregistrazione Scelta range di valori	Accurato urbano, ombre, acqua Errore con suolo, e nuvole nelle immagini post	Range applicabile a più immagini	Integrabile in un algoritmo automatico

Legenda **Alto** **Medio** **Basso**

5.2 Parco Nazionale del Gargano 2004

Per la copertura del Parco Nazionale del Gargano nel 2004 sono state acquisite 10 immagini ASTER in 7 date differenti: esse sono state processate con i metodi descritti in precedenza.



Figura 15. GIS delle immagini ASTER relative al Parco Nazionale del Gargano per il 2004. In magenta sono indicate le due immagini (o scene) del 14 settembre 2004.

Nella Tabella per ogni immagine processata sono indicate anche le percentuali di copertura dell'area del parco, e il metodo di elaborazione che ha fornito i risultati migliori.

Tabella 4.4 – Immagini ASTER del 2004 relative al Parco Nazionale del Gargano e metodi di analisi.

GARGANO 2004 - immagini ASTER			
Data immagine		% area Parco	Metodo
27 gennaio 2004	1 scena	50	Analisi visuale *
12 febbraio 2004	1 scena	50	intersezione indici NBR e BAI post
07 aprile 2004	2 scene**	40/20	intersezione indici NBR e BAI post
28 luglio 2004	2 scene**	50/40	intersezione indici NBR e BAI post
14 settembre 2004	2 scene**	30/5	Max. Likelihood bande:8,4,3,2,NBR,BAI
23 settembre 2004	1 scena	40	Max. Likelihood bande:8,4,3,2,NBR,BAI
12 dicembre 2004	1 scena	50	Non processata **

* Gli eventi osservati in questa scena, sono rilevati in modo automatico nell'immagine di febbraio

** 1 scena non processata, perché da analisi visuale non ci sono eventi

Nelle Tabelle 4.5 e 4.5bis sono riportati i risultati ottenuti dalle immagini ASTER nella delimitazione delle aree percorse da incendio sul Gargano nel 2004.

Tabella 4.5 – Gargano 2004: Incendi (> 1 ha) rilevati sulle immagini ASTER.

ASTER 2004	Parco		fuori Parco		Totale per immagine	
	n. poligoni	Area ha	n. poligoni	Area ha	n. poligoni	Area ha
12 Feb	12 *	37,0	9	52,3	21	89,3
07 Apr	5 *	22,4	1	1,1	6	23,5
28 Lug	3	14,3	0	0,0	3	14,3
14 Set	15	59	6	14,3	21	73,3
23 Set	2	2,7	2	58,8	4	61,5
totale	37	135,4	18	126,5	56	261,9

* Gli incendi rilevati in febbraio ed aprile, da una analisi dei dati relativi ai centroidi CFS del 2003, non sembrano essere imputabili ad eventi avvenuti nel corso del 2003, ma sono eventi del 2004.

Tabella 4.5 bis Incendi (> 1 ha) rilevati da ASTER, escludendo i seminativi (CLC cod. 211 e 242)

ASTER 2004	Parco	
	n. poligoni	Area ha
12 Feb	10	26,8
07 Apr	5	22,4
28 Lug	3	14,3
14 Set	10	29,3
23 Set	0	0,0
totale	28	92,8

Una sintesi per l'anno 2004 dei poligoni (> 1 ha) all'interno del PN Gargano, considerando anche la loro localizzazione geografica è la seguente:

Tabella 4.6 – PN GARGANO 2004: sintesi incendi (> 1 ha) rilevati da CFS e da ASTER. Sono esclusi i poligoni CFS < 1 ha, che sono n. 13 per una area di 3,9.

	Poligoni GPS/CFS		Poligoni da ASTER	
	n. poligoni	Area ha	n. poligoni	Area ha
comuni (>1 ha)	2*	14,0	3*	9,9
Solo CFS (>1ha)	12	106,0		
Solo ASTER			25 (34)	82,9 (125,5)
totale	14	120	28 (37)	92,8 (135,4)

* Differenza dovuta al fatto che alcuni poligoni CFS sono composti da più poligoni ASTER
Tra parentesi i valori ottenuti includendo i poligoni a seminativo nella Corine

Per tutti i 12 eventi rilevati dai dati GPS/CFS e non rilevati sulle immagini ASTER, si riportano per ognuno le motivazioni per cui non sono rilevabili (Tabella seguente).

Tabella 4.7 – Parco Nazionale Gargano 2004: poligoni GPS/CFS non rilevati dalle immagini ASTER

	ID	LOCALITA'	Data	Area (ha)	NOTA
1	2075	bosco isola *	05 mar	1,4	area non ripresa dall'immagine del 07/04
2	2044	torre mozza-l'arenaia	09 lug	4,3	area non ripresa dall'immagine del 28/07
3	2161	scarpetta d'oro	23 lug	5,3	area non ripresa dall'immagine del 28/07
4	2107	immersione	25 ago	46,1	area non ripresa dall'immagine del 14/09
5	2061	isola varano	26 ago	6	area non ripresa dall'immagine del 14/09
6	2098	pietra della madonna	27 ago	4,7	area non ripresa dall'immagine del 14/09
7	2104	patromele	06 sett	18,6	area non ripresa dall'immagine del 14/09
8	2106	pagliettola	08 sett	6,1	area non ripresa dall'immagine del 14/09
9	2110	monte gennaro	12 sett	2,4	area non rilevata dalla classificazione (nuvola)
10	2122	coppa romoncello	15 sett	2,5	area non ripresa dall'immagine del 23/09
11	2108	valle coppa	23 sett	6,3	area non ripresa dall'immagine del 23/09
12	2094	rnp isola varano	24 sett	1,9	incendio posteriore all'ultima immagine ASTER

* primo incendio rilevato a terra per la stagione 2004

E' da osservare in particolare come incendi anche estesi (es. Immersione 46 ha, Patromele 18 ha), cadono in una zona non coperta dalle immagini, a cavallo fra due strisciate del satellite (Fig. 16). Questi due incendi sono compresi nell'immagine ASTER del 12 dicembre 2004, ma non sono più rilevabili, poiché a distanza di circa 3 mesi le aree corrispondenti mostrano sull'immagine una ricrescita della copertura vegetale (generalmente pascolo).

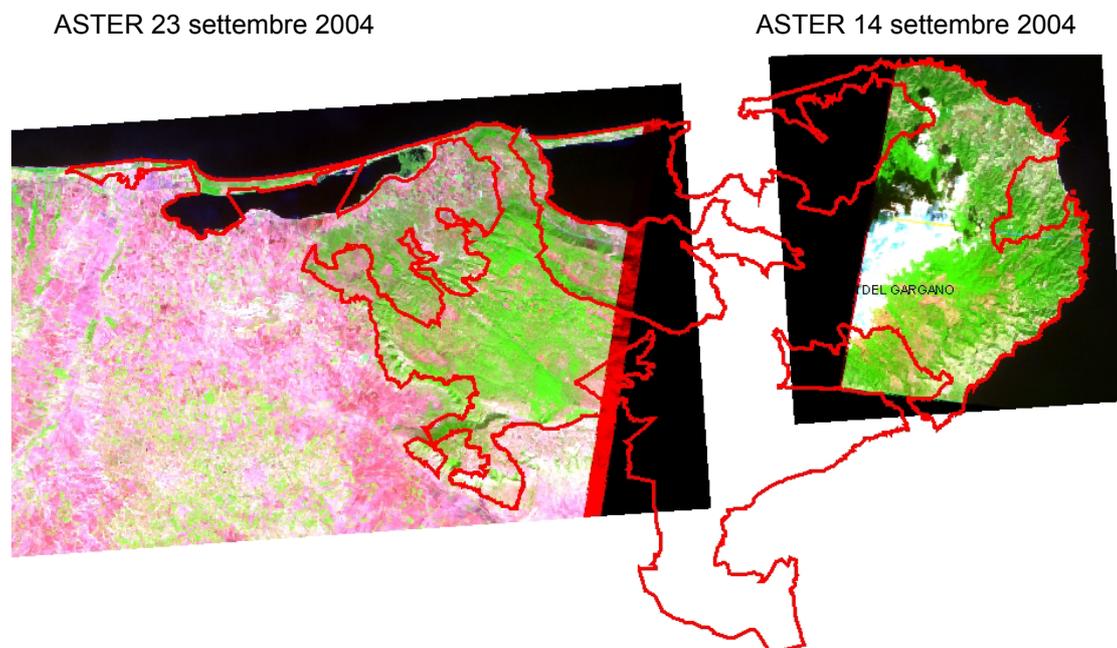


Figura 16. Le due immagini ASTER del settembre 2004 (23 settembre a Ovest e 14 settembre a Est) lasciano scoperta una zona importante del Parco in cui a terra sono stati rilevati diversi incendi. Immagini estratte dal GIS costruito per il progetto.

Nelle figure seguenti si presentano le immagini con sovrapposti i poligoni derivati dai dati GPS/CFS (nero) e quelli derivati da ASTER (rosso) per i 2 incendi comuni compresi nell'area del Parco e i 3 comuni ma esterni al Parco Nazionale.

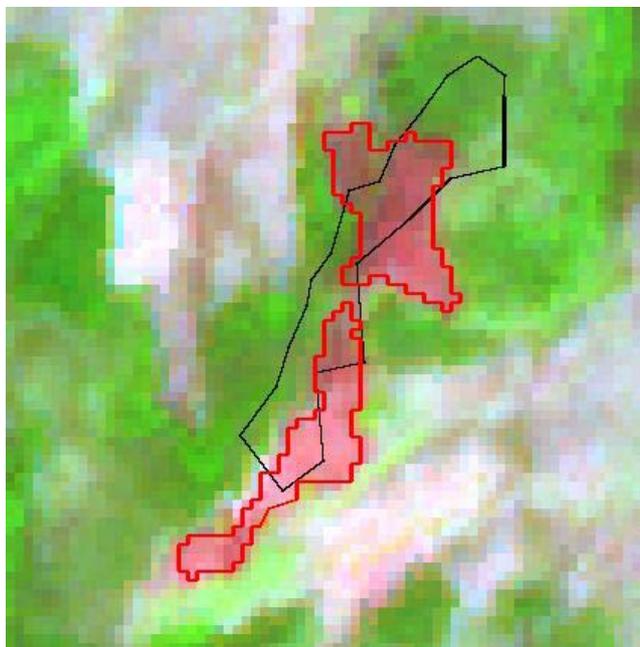


Figura 17. Località: **Lama dei Tardi** (interna al Parco)
Immagine 14-09-2004, Incendio 10-09-2004, rilievo 30-09-2004
Area ha CFS: 7.6; IMG: 7.6; CFS \cap IMG: 3.0; CFS \setminus IMG: 4.6; IMG \setminus CFS: 4.6
Corine: boschi misti; commento: forma e superfici simili, ma non perfettamente coincidenti.

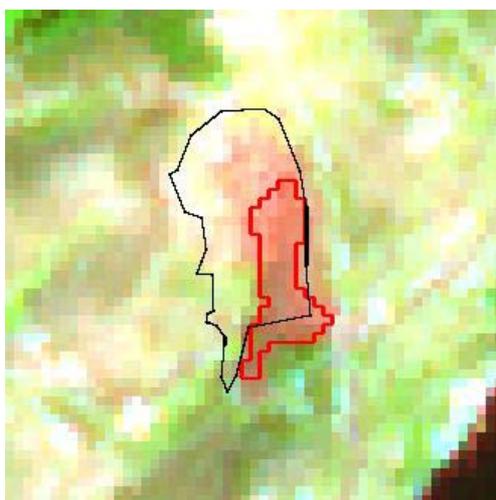


Figura 18. Località: **Montelci** (interna la parco)
Immagine 14-09-2004, Incendio 09-09-2004, rilievo 12-09-2004
Area ha CFS: 6.4; IMG: 2.3; CFS \cap IMG: 1.7; CFS \setminus IMG: 4.7; IMG \setminus CFS: 0.6
Corine: uliveti; commento: forma simile, algoritmo sottostima

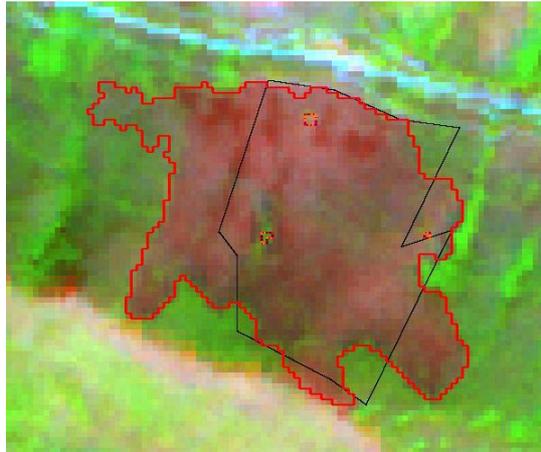


Figura 19. Località **Costa Trombetta** (esterna al Parco)
 Immagine (IMG) 23-09-2004, Incendio 31-08-2004, rilievo 01-09-2004
 Area ha CFS: 38.5; IMG: 57.2; CFSnIMG: 34.7; CFSnoIMG: 3.8; IMGnoCFS: 22.5
 Corine: vegetazione di sclerofile; commento: poligono GPS troppo geometrico

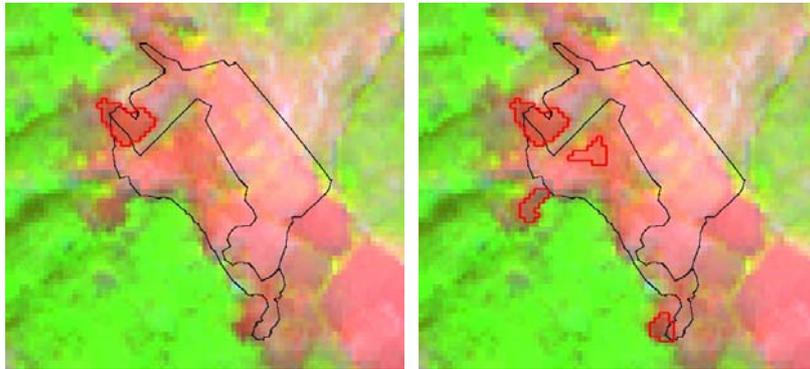


Figura 20. Località **Paglizzi** (esterna al Parco)
 Immagine 23-09-2004., Incendio 21-08-2004, rilievo 31-08-2004
 Area ha CFS: 29.7; IMG: 1.5; CFSnIMG: 1.1; CFSnoIMG: 28.6; IMGnoCFS: 0.4
 Corine: prati stabili, boschi latifoglie; commento: algoritmo riconosce solo incendio nel bosco.
 Nella immagine a destra sono evidenziate altre aree bruciate, eliminate perché ognuna < 1ha..

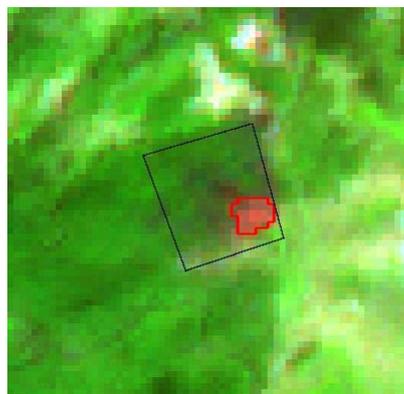


Figura 21. Località: **Puntone di Marzo** (esterna la Parco)
 Immagine 14-09-2004., Incendio 26-08-2004, rilievo 27-08-2004
 Area ha CFS: 8.1; IMG: 0.7; CFSnIMG: 0.7; CFSnoIMG: 7.4; IMGnoCFS: 0.0
 Corine: boschi di conifere; commento: rilievo GPS dà un poligono quadrato

5.3 Parco Nazionale del Pollino 2004

Per la copertura del Parco Nazionale del Pollino nel 2004 sono state acquisite 8 immagini ASTER in 4 date differenti: esse sono state processate con i metodi descritti in precedenza.

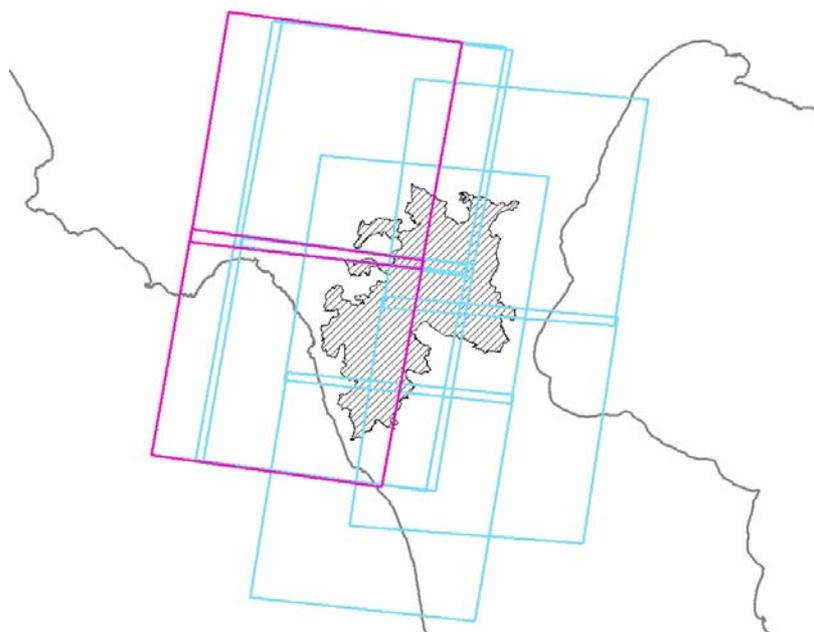


Figura 22. GIS delle immagini ASTER relative al Parco Nazionale del Pollino per il 2004. In magenta sono indicate le due scene del 14 settembre 2004.

Nella Tabella per ogni immagine processata è indicato il metodo di elaborazione che ha fornito i risultati migliori.

Tabella 4.8 – Immagini ASTER del 2004 relative al Parco Nazionale del Pollino e metodi di analisi.

POLLINO 2004 - Immagini ASTER			
Data immagine		% area Parco	Metodo
10 giugno 2004	2 scene *	30 / 60	interpretazione visuale
26 giugno 2004	2 scene **	30 / 60	interpretazione visuale
21 luglio 2004	2 scene *	90 / 20	Max. Likelihood bande:8,4,3,2,NBR,BAI
14 settembre 2004	2 scene	10 / 40	Max. Likelihood bande:8,4,3,2,NBR,BAI

*1 scena non processata perché da analisi visuale non ci sono eventi

** 2 scene non processate perché da analisi visuale non ci sono eventi

I risultati ottenuti dalle immagini ASTER nella delimitazione delle aree percorse da incendio sono riassunti nelle Tabelle seguenti.

Tabella 4.9 – Pollino 2004: incendi (> 1 ha) rilevati sulle immagini ASTER.

ASTER 2004	Parco		fuori Parco		Totale per immagine	
	n. poligoni	Area ha	n. poligoni	Area ha	n. poligoni	Area ha
10 Giu	1	5,5	0	0	1	5,5
26 Giu	0	0	0	0	0	0
21 Lug	0	0	33	352,0	33	352,0
14 Set	46	434,5	86	423,7	132	858,2
totale	47	440,0	119	775,7	166	1215,7

Tabella 4.9 bis Incendi (> 1 ha) rilevati da ASTER,
escludendo i seminativi (CLC cod. 211 e 242)

ASTER 2004	Parco	
	n. poligoni	Area ha
10 Giu	1	5,5
26 Giu	0	0
21 Lug	0	0
14 Set	43	420,9
totale	44	426,4

Una sintesi per l'anno 2004 dei poligoni (> 1 ha) all'interno del PN Pollino, considerando anche la loro localizzazione geografica è la seguente:

Tabella 4.10 – PN Pollino 2004: sintesi incendi (> 1 ha) rilevati da CFS e da ASTER. Sono esclusi i poligoni CFS < 1 ha, che sono n. 31 per una area di 13,8.

	Poligoni GPS/CFS		Poligoni da ASTER	
	n. poligoni	Area ha	n. poligoni	Area ha
comuni (>1 ha)	23*	254,3	28*	292,1
Solo CFS (>1ha)	32	316,3		
Solo ASTER			16 (19)	134,4 (147,9)
totale	55	570,6	44 (47)	426,5 (440,0)

* Differenza dovuta al fatto che alcuni poligoni CFS sono composti da più poligoni ASTER
Tra parentesi i valori ottenuti includendo i poligoni a seminativo nella Corine

Per tutti i 32 eventi rilevati dai dati GPS/CFS e non rilevati sulle immagini ASTER, si riportano per ognuno le motivazioni per cui non sono rilevabili (Tabella seguente).

Tabella 4.11 – Parco Nazionale Pollino 2004: poligoni GPS/CFS non rilevati dalle immagini ASTER

	ID	LOCALITA'	Data	Area (ha)	NOTA
1	465	pietà	18 Mar	2,033	area non ripresa dall'immagine del 14/09
2	430	cocuzzo	05 Ago	1,315	area non rilevata dalla classificazione
3	407	ombrece	11 Ago	3,121	area non rilevata dalla classificazione
4	443	caste di raione	16 Ago	5,002	area coperta da nuvola nell'immagine del 14/09
5	433	olivella	16 Ago	1,981	area rilevata dalla classificazione < 1 ha
6	228	santa maria	18 Ago	1,898	area rilevata dalla classificazione < 1 ha
7	449	sant'angelo	19 Ago	1,936	area non ripresa dall'immagine del 14/09
8	419	vitimoso	21 Ago	4,058	area rilevata dalla classificazione < 1 ha
9	459	pantano	21 Ago	1,441	area non ripresa dall'immagine del 14/09
10	463	petrosa	24 Ago	1,424	area non ripresa dall'immagine del 14/09
11	464	fosso carbone	25 Ago	1,073	area non ripresa dall'immagine del 14/09
12	457	sacchitello	25 Ago	1,459	area non ripresa dall'immagine del 14/09
13	437	mastro marco	25 Ago	2,007	area non rilevata dalla classificazione
14	453	timpa tre castelli	26 Ago	3,165	area non ripresa dall'immagine del 14/09
15	428	massanova	29 Ago	1,039	area non ripresa dall'immagine del 14/09
16	438	monte carpinoso	30 Ago	6,913	la classificazione rileva un poligono ad una distanza > 200 m
17	467	ponte la valle	30 Ago	13,111	area con ombra di nuvola nell'immagine del 14/09
18	460	scaragiano	30 Ago	2,510	area non ripresa dall'immagine del 14/09
19	452	musciariello	31 Ago	19,607	area non ripresa dall'immagine del 14/09
20	408	cannidate	31 Ago	5,045	area rilevata dalla classificazione < 1 ha
21	360	pietra colmata-ant	01 Set	26,688	area coperta da nuvola nell'immagine del 14/09
22	462	giannantonio	09 Set	165,994	area non ripresa dall'immagine del 14/09
23	243	santa gada	09 Set	1,052	area rilevata dalla classificazione < 1 ha
24	426	bosco vaccarizzo	11 Set	3,041	la classificazione rileva un poligono ad una distanza > 200 m
25	451	catarozzo	11 Set	4,034	area non ripresa dall'immagine del 14/09
26	232	san nicola	14 Set	1,592	incendio avvenuto dopo il passaggio del satellite
27	231	san nicola	14 Set	3,858	incendio avvenuto dopo il passaggio del satellite
28	238	perfora	15 Set	1,489	data oltre la copertura temporale ASTER
29	445	mira	15 Set	1,391	incendio posteriore all'ultima immagine ASTER
30	411	torre di lippa	22 Set	22,623	incendio posteriore all'ultima immagine ASTER
31	404	serra di mezzo	09 Ott	2,064	incendio posteriore all'ultima immagine ASTER
32	237	fiego	10 Ott	2,250	incendio posteriore all'ultima immagine ASTER

Nella Tabella seguente si mettono a confronto tutti i poligoni comuni ai due data base (GPS/CFS e immagini ASTER).

Tabella 4.12 – PN Pollino 2004: confronto fra i poligoni (> 1 ha) comuni fra GPS/CFS e ASTER.

	Località	Data Incendio	Data Rilievo	Area Punto	Area POLIG	Area IMG	Area Comune	POLIG No IMG	IMG No POLIG
1	demanio	23 Mag	24 Mag	2	2,3	5,5	0	2,3	5,5
2	pastirosa	24 Lug	25 Lug	3	2,9	2,8	0,6	2,3	2,2
3	madonna								
	soccorso	03 Ago	04 Ago	7	7	5,2	0,7	6,2	4,5
4	massa-	19 Ago 20	20 Ago						
5	maralonga	Ago	21 Ago	4	21	22,6	11,2	9,9	11,2
6	ciminnito-	15 Ago	15 Ago						
7	garramillo	26 Ago	29 Ago	0	38,9	55	11,1	25,8	43,9
8	crecione	20 Ago	21 Ago	4	3,9	2,6	0,5	3,4	2,1
9	serra								
	bonangelo	25 Ago	26 Ago	0	11,7	36,2	0	11,7	36,2
10	aguzzarra-								
	maranosa	26 Ago	27 Ago	55	56,3	10,9	10,3	46,4	0,5
11	monte								
	romano	29 Ago	30 Ago	3	3,1	7,5	1	2	6,5
12	monte								
	carpinoso	30 Ago	31 Ago	7	6,9	6,8	0	6,9	6,8
13/14		29 Ago 11	30 Ago						
	pantana	Set	12 Set	14	13,4	20	8	5,4	12
15/16	santo								
	janni-								
	acqua della	02 Set	03 Set						
	vecchia	13 Set	14 Set	5	19,2	8,8	6,6	12,6	2,2
17	formica								
	crecione	06 Set	07 Set	8	8	5,1	0,2	7,8	4,9
18	rubbia	08 Set	10 Set	9,1	9	7,9	4,1	5	3,8
19	varco	09 Set	11 Set	40	40,9	100,8	19,1	21,5	81,7
20	monte								
	calimaro	11 Set	12 Set	2	1,4	1,7	1,2	0,2	0,3
21	filannino	11 Set	13 Set	5	5,1	1,12	0,9	4,2	0,1
22/23	bosco	11 Set	11 Set						
	vaccarizzo	12 Set	13 Set	0	5	1,3	0	5	1,3
				168,1	256	301,82	75,5	178,6	225,7

Nelle figure seguenti si presentano per alcuni incendi di tabella 4.12 le immagini ASTER con sovrapposti i poligoni derivati dai dati vettoriali CFS (nero) e quelli derivati da satellite (rosso).

Nella figura 29, a titolo di esempio è riportato anche lo shape file dei poligoni ottenuti dall'immagine ASTER, cui nel GIS è associata la relativa tabella di attributi (data immagine, area poligono, Corine Land Cover, ecc.).

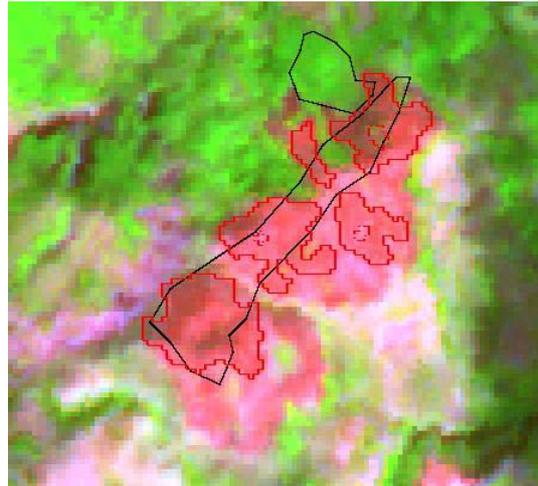


Figura 23. Località: **Massa Maralunga** (interna al Parco)
 Immagine 14-09-2004, Incendio 19/20-08-2004, rilievo 20/21-08-2004
 Area ha CFS: 21; IMG: 22.6; CFS \cap IMG: 11.2; CFS \setminus IMG: 9.9; IMG \setminus CFS: 11.2
 Corine: pascolo, bosco latifoglie; commento: aree simili, algoritmo poligoni separati

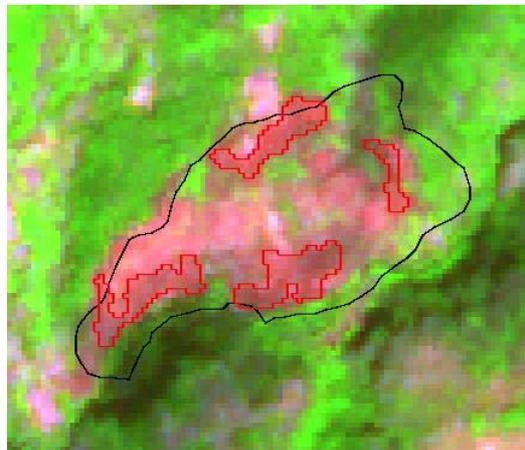


Figura 24. Località: **Aguzzara Maranosa** (interna al Parco)
 Immagine 14-09-2004, Incendio 26-08-08-2004, rilievo 27-08-2004
 Area ha CFS: 56.3; IMG: 10.9; CFS \cap IMG: 10.3; CFS \setminus IMG: 46.4; IMG \setminus CFS: 0.5
 Corine: pascolo, bosco latifoglie; commento: coincidenza spaziale, algoritmo sottostima

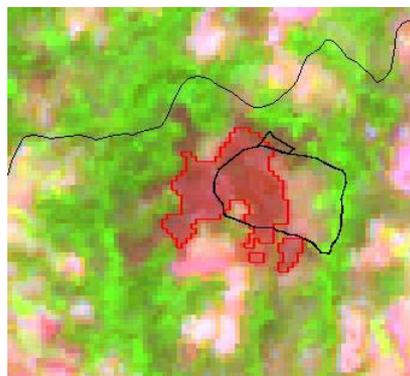


Figura 25. Località: **Rubbia** (interna al Parco)
 Immagine 14-09-2004, Incendio 08-09-2004, rilievo 10-09-2004
 Area ha CFS: 9.06; IMG: 7.9; CFS \cap IMG: 4.1; CFS \setminus IMG: 5; IMG \setminus CFS: 3.8
 Corine: colture agrarie con spazi naturali, boschi di latifoglie; commento: aree simili, forme diverse.

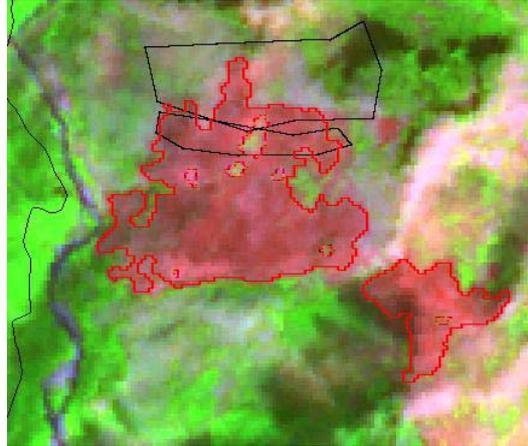


Figura 26. Località: (sinistra) **Ciminnito Garramillo** (interna al Parco)
Immagine 14-09-2004, Incendio 15/26-08-2004, rilievo 15/29-08-2004
Area ha CFS: 38.9; IMG: 55; CFSnIMG: 11.1; CFSnoIMG: 25.8; IMGnoCFS: 43.9
Corine: pascolo, bosco latifoglie; commento: discrepanza come area, forma e localizzazione

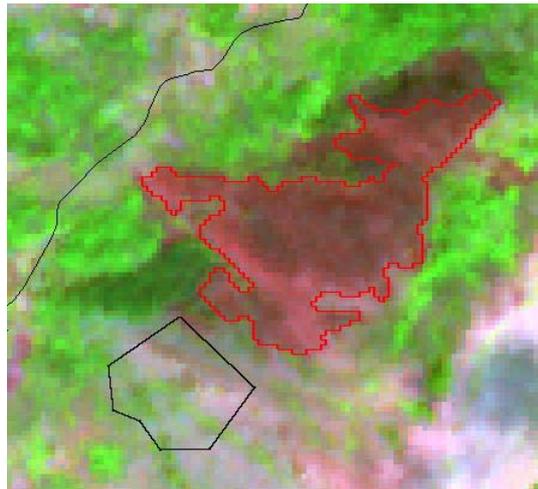


Figura 27. Località: **Serra Bonangelo** (interna al Parco)
Immagine 14-09-2004, Incendio 25-08-2004, rilievo 26-08-2004
Area ha CFS: 11.07; IMG: 36.2; CFSnIMG: 0; CFSnoIMG: 11.7; IMGnoCFS: 36.2
Corine: pascolo; commento: discrepanza come area, forma e localizzazione

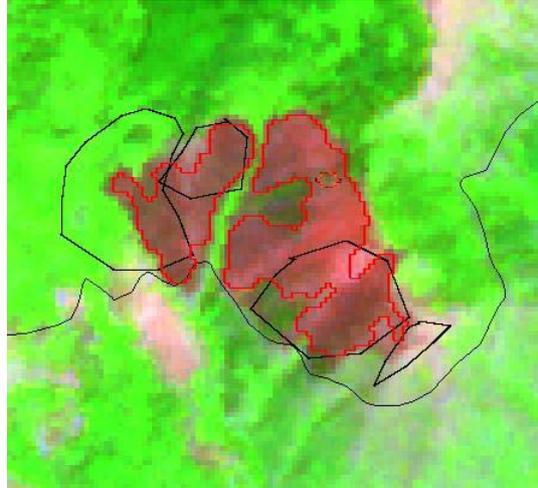


Figura 28. Località: (sinistra): **Santo Janni – Acqua della Vecchia** (interna al Parco)
 Immagine 14-09-2004, Incendio 02/13-09-2004, rilievo 03/14-09-2004
 Area ha CFS: 19.2; IMG: 8.8; CFSnIMG: 6.6; CFSnoIMG: 12.6; IMGnoCFS: 2.2
 Corine: pascolo, bosco latifoglie; commento: a terra rilevati 2 poligoni a distanza di 10 giorni

– Località: (destra): **Pantana** (interna al Parco)
 Immagine 14-09-2004, Incendio 29-08-2004/11-09-2004, rilievo 30-08-2004/12-09-2004
 Area ha CFS: 13.4; IMG: 20; CFSnIMG: 8; CFSnoIMG: 5.4; IMGnoCFS: 12
 Corine: pascolo; commento: a terra rilevati 2 poligoni a distanza di una decina di giorni

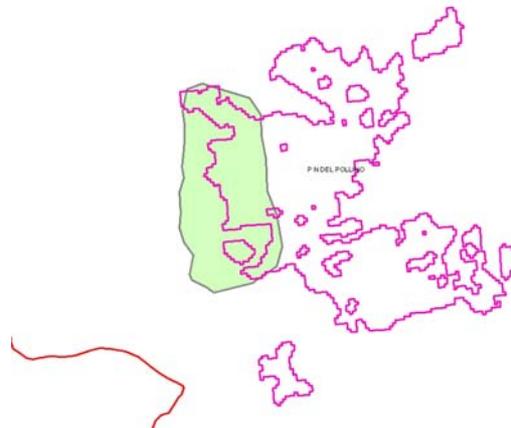
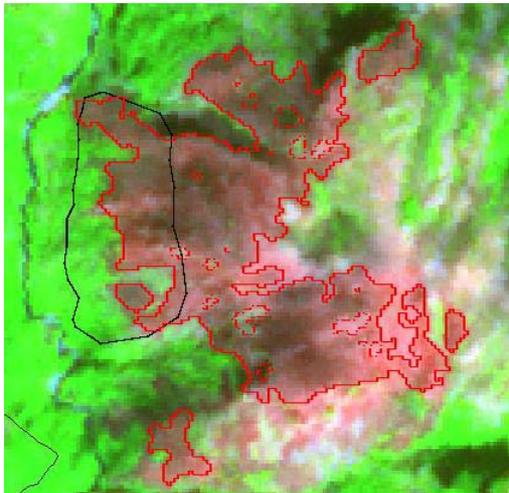


Figura 29. Località: **Varco** (interna al Parco)
 Immagini 14-09-2004, Incendio 09-09-2004, rilievo 11-09-2004
 Area ha CFS: 40.9; IMG: 100.8; CFSnIMG: 19.1; CFSnoIMG: 21.5; IMGnoCFS: 81.7
 Corine: vegetazione sparsa, bosco latifoglie; commento: forma e superfici dissimili

I risultati fin qui riportati sono preliminari, cioè ottenuti dalla applicazione di metodi semi-automatici alle immagini ASTER, e si riferiscono ai poligoni non ancora validati mediante interpretazione visuale per arrivare al prodotto finale dei perimetri percorsi dal fuoco.

5.4 Approcci utilizzati

Sulla base delle sperimentazioni condotte nel corso della prima fase sono stati individuati i tre approcci più adatti per la delimitazione delle aree percorse dal fuoco: fotointerpretazione, classificazione Maximum Likelihood e soglia multipla degli indici spettrali NBR e BAI. La fotointerpretazione viene utilizzata quando il numero di eventi nel Parco è limitato (< 5 incendi). Nel caso di scene particolarmente complesse (per esempio: presenza di nuvole ed ombre delle nuvole) viene utilizzata la classificazione Maximum Likelihood, mentre negli altri casi si ricorre al metodo degli indici.

Fotointerpretazione

Il rilievo visivo delle aree percorse da incendio è avvenuto sulla base dell'interpretazione di due diverse combinazioni in falso colore (RGB: 832 e 321) che mettono in evidenza la presenza di superfici bruciate. In figura viene presentato un esempio su una finestra di zoom dell'immagine ASTER del 27 luglio 2005 ripresa sulla Gallura. Il file vettoriale dei poligoni tracciato a monitor viene poi trasformato in shapefile e caricato in ArcMap per la visualizzazione ed il calcolo della superficie.

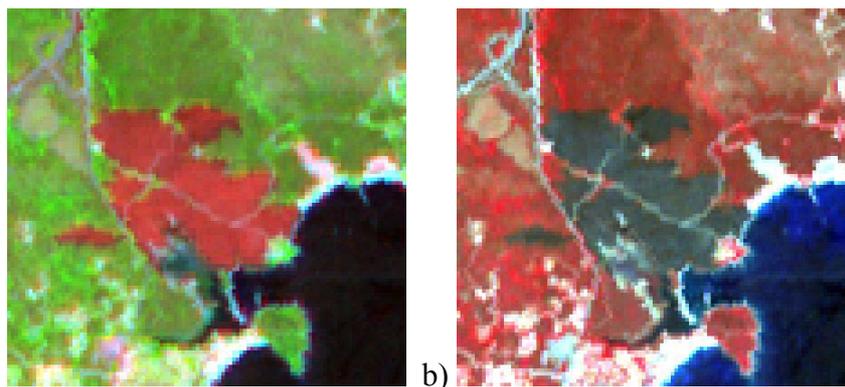


Figura 30. Immagine ASTER acquisita il 27/07/2005. Combinazione RGB 832 (a) e 321 (b) dell'area nel comune di Olbia interessata dall'incendio registrato il 07/07/2005.

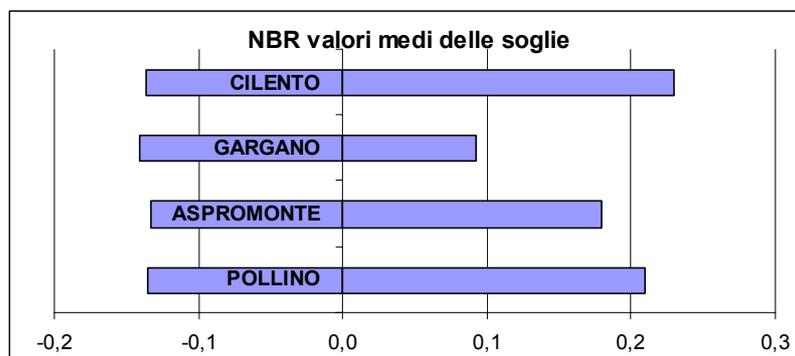
Classificazione supervised Maximum Likelihood

I pixel di training per la classificazione sono stati raccolti considerando 7 classi di copertura del suolo (bruciato, vegetazione, suolo nudo, urbanizzato, nuvole, ombra e acqua) con una numerosità di circa 150 pixel per classe. Nel processo decisionale di classificazione si sono utilizzate le bande 8, 4, 3 e 2 e gli indici NBR e BAI. Al risultato della classificazione è stato applicato un filtro mediano con finestra mobile 3x3, per poi estrarre il vettoriale delle aree bruciate da caricare in ArcMap. Poiché l'area minima da rilevare è pari ad un ettaro, tutti i poligoni inferiori a questa dimensione sono stati eliminati.

Approccio multisoglia con indici NBR e BAI

I due indici spettrali NBR e BAI mettono in evidenza due diversi effetti del passaggio del fuoco. Il primo, sensibile al danno provocato dal fuoco sulla vegetazione, decresce al passaggio dell'incendio, mentre il secondo, che rileva la deposizione dei resti di combustione dopo l'incendio, aumenta.

Il metodo applicato vuole sfruttare la "complementarietà" dei due indici. Per ogni scena ASTER si calcolano le immagini dei due indici a cui viene applicata una soglia diversa per ognuno e si ottengono due mappe binarie "bruciato/non bruciato". La figura 31 riassume le soglie medie utilizzate per alcuni PN.



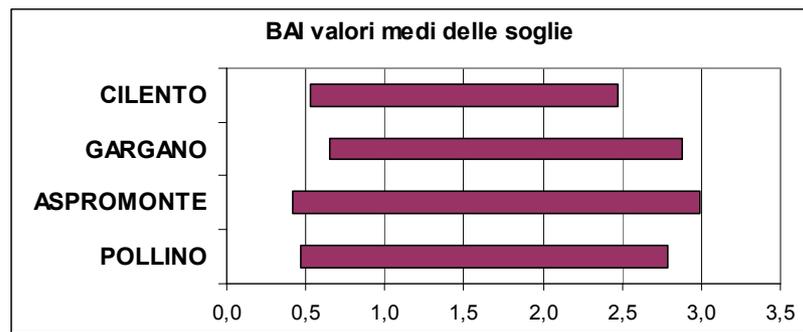


Figura 31. Valori medi delle soglie utilizzate con il metodo degli indici nei maggiori parchi nazionali del sud Italia.

Successivamente viene prodotta una unica mappa binaria in cui viene ritenuto come bruciato ciò che è riconosciuto da entrambe, mediante una operazione di intersezione (vedi figura 32).

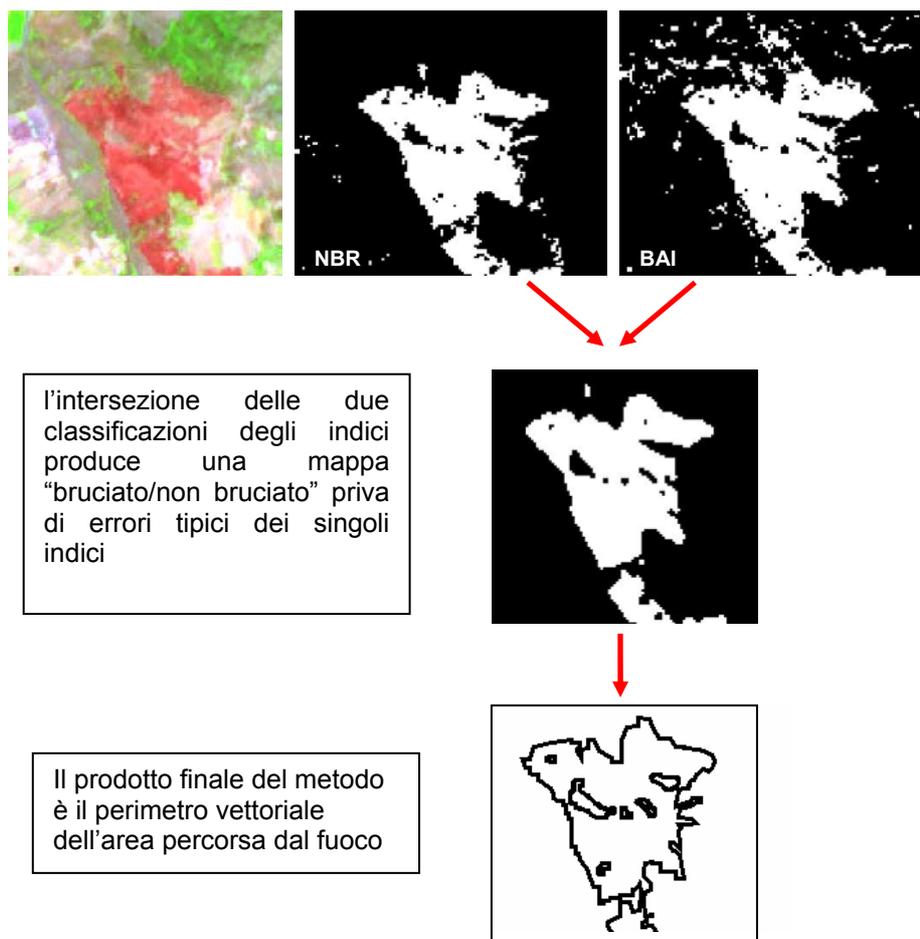


Figura 32. Schema di applicazione del metodo degli indici.

Questo permette di sfruttare le specificità dei due indici che sono discordi sugli errori (ad esempio, l'indice BAI confonde la classe "bruciato" con le superfici di acqua e ombre, l'indice NBR confonde come bruciato superfici di urbanizzato e suoli, suggerendo la possibilità di combinarli insieme per migliorare il riconoscimento) e concordi sulla classe di interesse.

Questo approccio, come si può intuire, è di tipo conservativo, cioè preferisce evitare i falsi positivi (aree identificate come bruciate quando non lo sono) che portano ad un errore di commissione a costo di tralasciare alcune aree bruciate (errore di omissione). Esso mostra quindi una tendenza alla sottostima delle superfici bruciate garantendo una maggiore affidabilità alle aree rilevate.

L'applicazione dei metodi semi-automatici per la produzione delle mappe delle aree bruciate include una fase di post-processing in più passi:

- I. Conversione della mappa tematica binaria in uno strato (layer) vettoriale, corrispondente alla sola classe "Bruciato";
- II. Applicazione di un filtro per le aree < 1 ha. Il filtro permette di rimuovere quanto può essere considerato "rumore", ma elimina al contempo anche incendi di piccole dimensioni, che in alcuni casi sono individuati dagli algoritmi. Tuttavia, se è vero che circa il 60 % degli incendi in Italia ha un'area <2 ha, questi eventi insieme sono responsabili di meno del 3 % di tutta l' area percorsa dal fuoco (Blasi et al., 2004);
- III. Eliminazione, con analisi visuale dell'esperto e sulla base di informazioni esterne relative alla copertura del suolo quali la Corine Land Cover, di una serie di errori grossolani legati tipicamente alla presenza di ombre delle nuvole e suoli nudi;
- IV. Maschera dei confini dei Parchi per estrarre i poligoni che ricadono o intersecano il territorio del Parco.

Si arriva così ad una mappa tematica finale a due classi "Bruciato" e "Non bruciato", che per limitare i falsi positivi, generalmente tende a sottostimare le superfici. Questo costituisce il prodotto finale dei perimetri delle aree percorse da incendio derivate

dalle immagini satellitari, utilizzabile come informazione georiferita all'interno del GIS della Direzione per la Protezione della Natura.

I metodi descritti sono stati applicati alle immagini da satellite ASTER e SPOT come descritto di seguito.

Per le immagini ASTER:

- Il numero totale di immagini acquisite è di 493 che, avendo di comune accordo escluso quelle relative a Gennargentu e Alta Murgia, diventano 442. Queste immagini sono state analizzate dall'operatore a video una ad una e per 328 immagini, nonostante la presenza di incendi nell'immagine, non sono state riconosciute aree interessate da incendi all'interno dei confini dei Parchi Nazionali.
- Le restanti 114 immagini in cui l'esperto ha individuato aree bruciate sono state sottoposte ad una analisi di dettaglio. In particolare, per quelle con un numero limitato di incendi, la perimetrazione delle aree bruciate è stata realizzata mediante fotointerpretazione (63 immagini). Per le restanti 51 sono stati applicati i metodi Maximum Likelihood (7 immagini) e l'approccio multi soglia che integra gli indici NBR e BAI (44 immagini).

Per le immagini SPOT:

- Delle 19 immagini SPOT, 5 non presentano incendi all'interno dei Parchi. Le altre sono state processate mediante fotointerpretazione (10) e Maximum Likelihood (4).

5. I perimetri delle aree percorse dal fuoco rilevate da satellite

L'applicazione delle procedure sopra descritte ha portato costruzione della base dati dei perimetri delle Aree Percorse dal Fuoco rilevate da Satellite (APFS) nel periodo 2001-2005. L' APFS, che costituisce il prodotto finale utilizzabile come informazione georiferita all'interno del GIS della Direzione per la Protezione della Natura, è una base dati *di tipo vettoriale* costituita da 49 shapefiles di tipo poligonale, suddivisi per parco e anno (Tab 5.1).

Tab. 5.1 Il database vettoriale delle aree percorse dal fuoco rilevate da satellite.

	PARCO	SHAPEFILES	ANNI
1	GARGANO	5	2001, 2002, 2003, 2004, 2005
2	POLLINO	5	2001, 2002, 2003, 2004, 2005
3	CILENTO	5	2001, 2002, 2003, 2004, 2005
4	SILA	3	2001, 2003, 2004
5	ASPROMONTE	5	2001, 2002, 2003, 2004, 2005
6	VESUVIO	3	2001, 2003, 2004
7	CIRCEO	2	2001, 2005
8	MAJELLA	1	2001
9	ABRUZZO	1	2004
10	GRAN SASSO	4	2001, 2002, 2003, 2005
11	MONTI SIBILLINI	2	2002, 2003
12	F. CASENTINESI	0	=
23	APP. TOSCO-EMILIANO	0	=
14	ARCIPELAGO TOSCANO	3	2001, 2003, 2004
15	CINQUE TERRE	1	2002
16	DOLOMITI BELLUNESI	2	2002, 2003
17	STELVIO	1	2004
18	VAL GRANDE	2	2003, 2004
19	GRAN PARADISO	2	2004, 2005
20	MADDALENA	2	2004, 2005
21	ASINARA	0	=
		49	

Per ogni Parco Nazionale esiste uno o più shapefile. Ogni file vettoriale è denominato come “**apfs_parco_nn**”, dove

- “apfs” significa “aree percorse dal fuoco da satellite”,
- “parco” è il nome del parco in questione (es. Gargano)
- “nn” sono le cifre dell’anno di riferimento (es. 04).

Ad ogni shape-file è associata una tabella, costituita da un numero di record pari al numero di poligoni. Ogni record contiene i seguenti attributi:

- ID_IREA: codice identificativo attribuito dall'IREA;
- AREA: estensione in m² del poligono;
- DATA_IMG: data dell'immagine da cui è stato rilevato il poligono;
- J_DAY: giorno giuliano della data dell'immagine;
- IMG_PRE: data della prima immagine antecedente quella di rilievo che ricopre la stessa area;
- METODO: metodo di rilievo adottato. "vis" sta per fotointerpretazione, "ind" e "mlh" stanno rispettivamente per classificazione Maximum Likelihood e classificazione con indici.

Da ArcEditor di ARCGIS sono stati anche compilati i metadati di ogni file, secondo il formato FGDC ESRI.

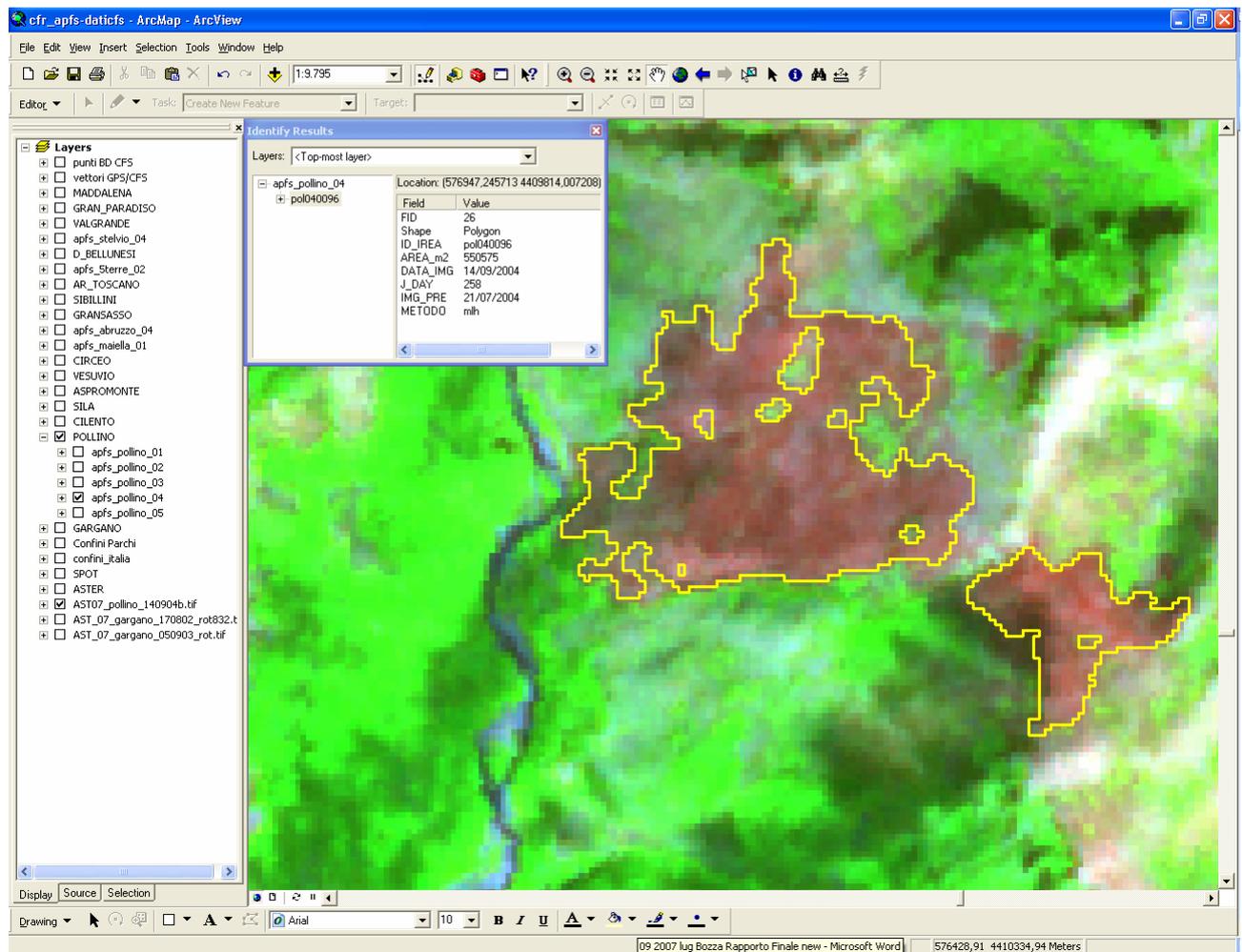


Figura 33. Schermata del GIS dedicato realizzato durante il progetto. I poligoni delle aree percorse dal fuoco classificate sono sovrapposti alla relativa immagine ASTER (RGB: 832).

Una prima sintesi delle aree percorse da incendi all'interno dei confini dei Parchi Nazionali nel periodo 2001–2005 ricavabile dall'analisi della base dati APFS è riassunta nelle Tabelle seguenti, per anno e per Parco:

Tabella 5.2– Dati ASTER e SPOT, poligoni aree bruciate e relative superfici nel periodo 2001-2005.

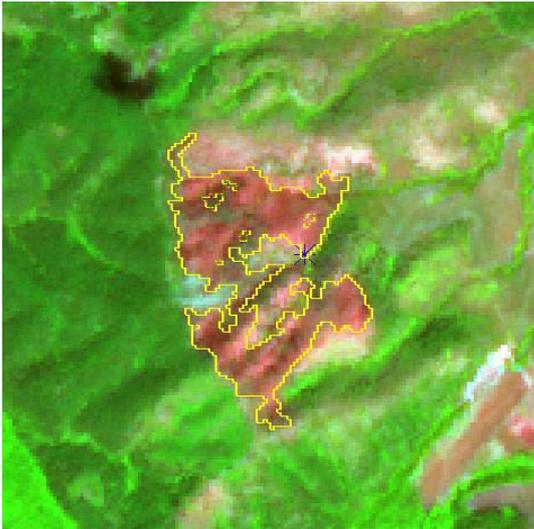
Anno	ASTER (442) e SPOT (19)			sup media (ha)
	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	
2001	65	140	1179	8,42
2002	92	49	228	4,65
2003	140	177	1172	6,62
2004	90	157	1441	9,18
2005	74	129	1018	7,89
Totale	461	652	5038	7,73

Tabella 5.3– Dati ASTER e SPOT, poligoni e superfici aree bruciate per i singoli Parchi Nazionali nel periodo 2001-2005.

Parco Nazionale	ASTER e SPOT			sup media (ha)	
	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)		
2001-2005					
Gargano	29	117	713,7	6,10	* 3 Spot 2005
Pollino	51	147	1150	7,82	* 6 Spot 2005
Cilento	40	222	1159,1	5,22	* 4 Spot 2005
Sila	18	14	45,1	3,22	
Aspromonte	32	91	785,6	8,63	* 6 Spot 2005
Vesuvio	17	13	78,2	6,02	
Circeo	12	2	46,1	23,05	
Maiella	21	3	49,1	16,37	
Abruzzo	17	1	1,3	1,30	
Gran Sasso	28	22	146,9	6,68	
Sibillini	18	2	20,3	10,15	
Foreste Casentinesi	12	0	0	0,00	
Tosco-Emiliano	25	0	0	0,00	
Arcipelago Toscano	19	6	626,5	104,42	
Cinque Terre	20	1	22,3	22,30	
Dolomiti Bellunesi	18	3	6,6	2,20	
Stelvio	29	1	6,4	6,40	
Val Grande	8	2	119	59,50	
Gran Paradiso	26	2	27,8	13,90	
Maddalena	14	3	33,5	11,17	
Asinara	7	0	0	*	
Totale	461	652	5038	7,73	

Il numero totale di poligoni rilevati dalle immagini è 652, per una superficie totale bruciata di più di 5000 ha; secondo queste stime più di 1000 ha sono bruciati ogni anno con l'eccezione del 2002. La dimensione media delle aree percorse dal fuoco risulta di 7,7 ha con alcuni valori che si discostano molto dalla media nel caso dei pochi eventi straordinari.

Di seguito nella Figura 34 sono riportati alcuni esempi significativi dei diversi casi.



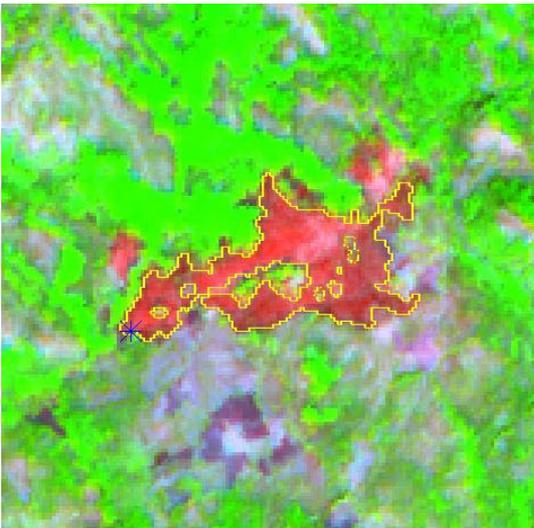
PN DEL GARGANO

ASTER 05/09/2003 46.1 ha
CFS 22/07/2003 102 ha



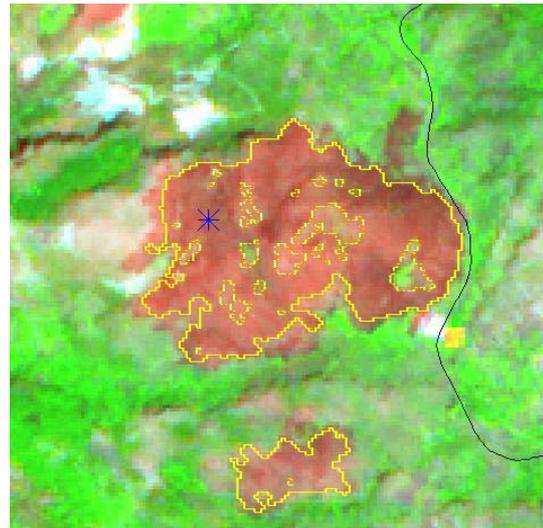
PN DEL POLLINO

ASTER 08/09/2001 90 ha



PN DEL CILENTO

ASTER 05/09/2003 39.5 ha
CFS 19/08/2003 46 ha



PN DELL'ASPRMONTE

ASTER 28/07/2003 80 ha
CFS 24/07/2003 25 ha

**PN DEL VESUVIO**

ASTER	05/09/2004	24.8 ha
CFS	28/08/2004	10 ha

**PN DELL'ARCIPELAGO TOSCANO**

ASTER	21/11/2001	232 ha
-------	------------	--------

Figura 34. Esempio significativi di perimetri di aree percorse dal fuoco in alcuni Parchi Nazionali.

Dove è presente anche il dato CFS, cioè data in cui è stato registrato l'incendio e l'estensione della 'area percorsa dal fuoco, l'asterisco blu indica le coordinate dell'incendio come riportato nel data base CFS. Nell'immagine del PN del Vesuvio è visibile sulla sinistra anche un fuoco attivo

Per ognuno dei ventuno Parchi Nazionali viene riportata di seguito una tabella che descrive per ogni anno: il numero di immagini da satellite acquisite, il numero di poligoni rilevati con i diversi metodi utilizzati e le rispettive superfici. Come utile riferimento e non per un confronto quantitativo, solo per i parchi Gargano, Cilento e Pollino vengono riportati i dati vettoriali resi disponibili dal CFS. Va ricordato che tali dati sono stati raccolti nella fase di sperimentazione della metodologia di rilievi a terra con GPS introdotta dal CFS a partire dal 2004.

		Vettori GPS/CFS		ASTER		
GARGANO	ANNO	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)
	2001			4	33	158,5
sup (ha)	2002			4	6	43,1
118.144	2003			7	30	216,2
	2004	14	120	10	37	135,4
	2005	11	143,7	4	12	163,7
				29	118	716,9

		Vettori GPS/CFS		ASTER		
POLLINO	ANNO	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)
	2001			5	19	239,8
sup (ha)	2002			8	18	57,3
171.132	2003			21	54	313,7
	2004	55	570,6	10	47	440
	2005	33	975,6	7	9	99,2
				51	147	1150

		Vettori GPS/CFS		ASTER		
CILENTO	ANNO	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)
	2001			5	31	146
sup (ha)	2002			3	13	36
118.144	2003			11	55	279
	2004			13	53	278,8
	2005	62	304,9	8	70	419,3
				40	222	1159,1

		Vettori GPS/CFS		ASTER		
SILA	ANNO	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)
	2001			4	11	37,4
sup (ha)	2002			2	0	0
73.695	2003			8	2	5,2
	2004			2	1	2,5
	2005			2	0	0
				18	14	45,1

		Vettori GPS/CFS		ASTER		
ASPROMONTE	ANNO	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)
	2001			6	31	240
sup (ha)	2002			6	2	6,5
76.053	2003			10	24	244,4
	2004			4	2	17,8
	2005			6	32	276,9
				32	91	785,6

		Vettori GPS/CFS		ASTER		
VESUVIO	ANNO	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)
	2001			2	1	3,3
sup (ha)	2002			4	0	0
7.259	2003			2	5	17
	2004			5	7	57,9
	2005			4	0	0
				17	13	78,2

		Vettori GPS/CFS		ASTER		
CIRCEO	ANNO	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)
	2001			3	1	28,2
sup (ha)	2002			2	0	0
5.616	2003			3	0	0
	2004			1	0	0
	2005			3	1	17,9
				12	2	46,1

		Vettori GPS/CFS		ASTER		
MAIELLA	ANNO	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)
	2001			2	3	49,1
sup (ha)	2002			6	0	0
62.838	2003			4	0	0
	2004			3	0	0
	2005			6	0	0
				21	3	49,1

		Vettori GPS/CFS		ASTER		
ABRUZZO	ANNO	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)
	2001			2	0	0
sup (ha)	2002			1	0	0
49.680	2003			5	0	0
	2004			4	1	1,3
	2005			5	0	0
				17	1	1,3

		Vettori GPS/CFS		ASTER		
GRAN SASSO	ANNO	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)
	2001			4	10	47,5
sup (ha)	2002			8	6	54,5
141.341	2003			7	3	26,7
	2004			3	0	0
	2005			6	3	18,2
				28	22	146,9

Monti SIBILLINI	ANNO	Vettori GPS/CFS		ASTER		
		n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)
	2001			2	0	0
sup (ha)	2002			7	1	3
69.722	2003			5	1	17,3
	2004			2	0	0
	2005			2	0	0
				18	2	20,3

Foreste CASENTINESI	ANNO	Vettori GPS/CFS		ASTER		
		n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)
	2001			1	0	0
sup (ha)	2002			1	0	0
31.038	2003			8	0	0
	2004			1	0	0
	2005			1	0	0
				12	0	0

App. TOSCO EMILIANO	ANNO	Vettori GPS/CFS		ASTER		
		n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)
	2001			3	0	0
sup (ha)	2002			10	0	0
22.792	2003			6	0	0
	2004			5	0	0
	2005			1	0	0
				25	0	0

Arcipelago TOSCANO	ANNO	Vettori GPS/CFS		ASTER		
		n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)
	2001			4	1	232,1
sup (ha)	2002			2	0	0
16.856	2003			7	1	10,1
	2004			3	4	384,3
	2005			3	0	0
				19	6	626,5

CINQUE TERRE	ANNO	Vettori GPS/CFS		ASTER		
		n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)
	2001			3	0	0
sup (ha)	2002			4	1	22,3
3.860	2003			7	0	0
	2004			4	0	0
	2005			2	0	0
				20	1	22,3

DOLOMITI BELLUNESI	ANNO	Vettori GPS/CFS		ASTER		
		n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)
	2001			1	0	0
sup (ha)	2002			4	2	5,2
15.132	2003			10	1	1,4
	2004			2	0	0
	2005			1	0	0
				18	3	6,6

STELVIO	ANNO	Vettori GPS/CFS		ASTER		
		n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)
	2001			5	0	0
sup (ha)	2002			9	0	0
133.325	2003			6	0	0
	2004			3	1	6,4
	2005			6	0	0
				29	1	6,4

VAL GRANDE	ANNO	Vettori GPS/CFS		ASTER		
		n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)
	2001			1	0	0
sup (ha)	2002			2	0	0
11.340	2003			2	1	40,8
	2004			1	1	78,2
	2005			2	0	0
				8	2	119

GRAN PARADISO	ANNO	Vettori GPS/CFS		ASTER		
		n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)
	2001			4	0	0
sup (ha)	2002			6	0	0
70.318	2003			3	0	0
	2004			12	1	20,1
	2005			1	1	7,7
				26	2	27,8

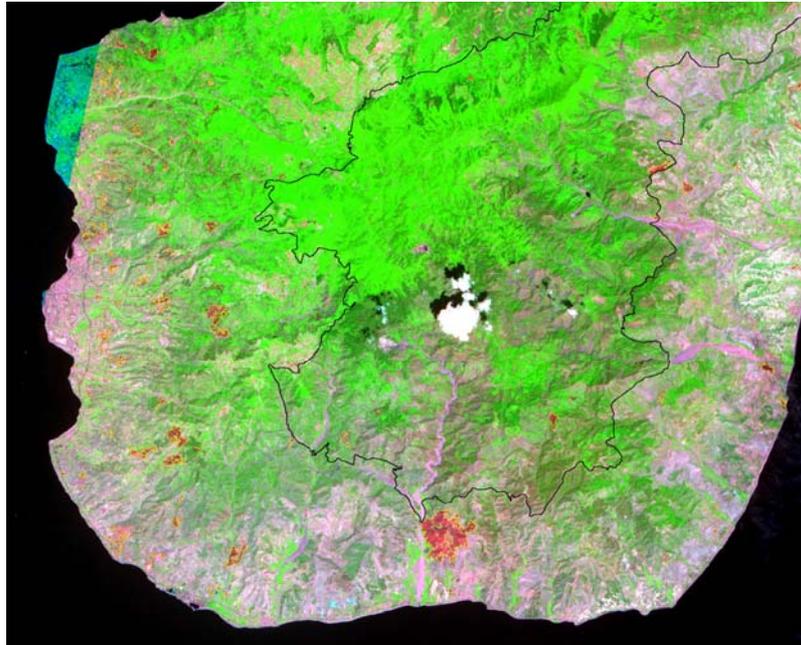
LA MADDALENA	ANNO	Vettori GPS/CFS		ASTER		
		n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)
	2001			2	0	0
sup (ha)	2002			2	0	0
5.100	2003			7	0	0
	2004			1	2	18,4
	2005			2	1	15,1
				14	3	33,5

ASINARA	ANNO	Vettori GPS/CFS		ASTER		
		n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)
	2001			2	0	0
sup (ha)	2002			1	0	0
5.170	2003			1	0	0
	2004			1	0	0
	2005			2	0	0
				7	0	0

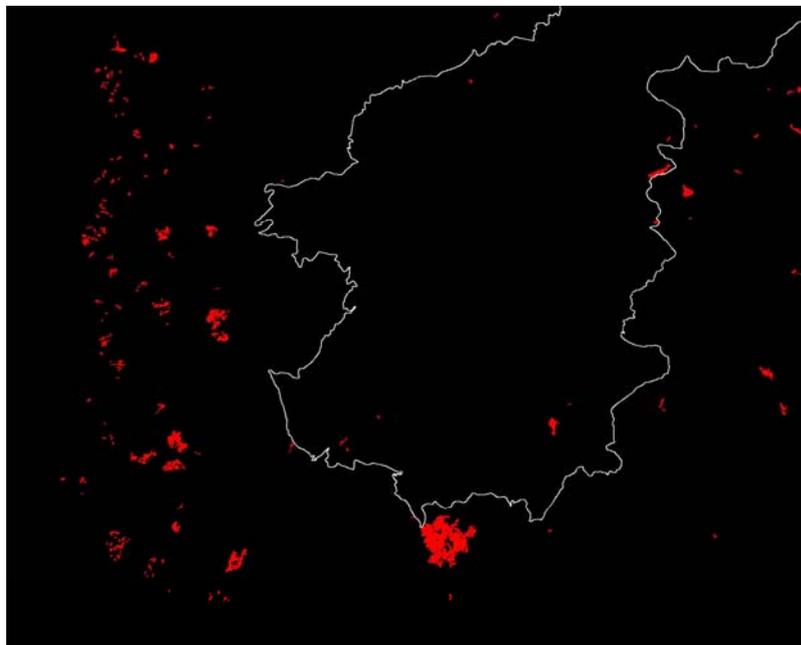
E' importante mettere in evidenza ancora una volta come le informazioni sui perimetri rilevati dalle immagini satellitari costituiscono per il periodo 2001-2005 una informazione georiferita molto preziosa, e, se si escludono i Parchi del Gargano e Pollino (2004 e 2005) e Cilento (2005), essi sono l'unica fonte di informazione cartografica per i parchi nazionali, non essendo più possibile ricavarla da altri dati. Inoltre va sottolineato che il dato ottenuto dall'elaborazione dei dati satellitari, seppur non preciso come quello rilevato a terra, è stato prodotto con una metodologia sistematica e rappresenta uno standard ripetibile. Tali dati sono perciò molto utili per

un confronto statistico tra i vari parchi e tra le varie annate rappresentando una fonte di informazione indispensabile per studi di ecologia forestale e a supporto delle politiche di prevenzione degli incendi.

La potenzialità delle immagini da satellite si estende al di là dei limiti dei Parchi Nazionali, come appare dalla figura sotto riportata.



A



B

Figura 35. A) Immagine 28/07/03 ripresa sul Parco dell'Aspromonte (combinazione RGB 832).
B) Mappa delle aree bruciate, numerose quelle esterne al parco, in particolare quella di 511 ha nei comuni di Confoduri, Bova e Bova Marina.

6. Valutazione dei risultati

La valutazione dei risultati di questo lavoro è un problema che coinvolge molteplici aspetti che vanno dalla valutazione del prodotto finale, costituito dal data base dei perimetri georiferiti delle aree percorse da incendio nel quinquennio 2001-2005, alla valutazione del metodo semi-automatico utilizzato ottenere ogni singolo poligono.

E' utile ricordare che un qualsiasi processo di valutazione si fonda su due ipotesi di base e cioè che esista un insieme esterno di dati di riferimento con cui confrontarsi e che i dati di riferimento, ove disponibili, siano privi di errore.

In questo progetto, il cui obiettivo è di produrre una cartografia a posteriori degli eventi di incendio a partire da immagini satellitari, è risultato difficile, se non impossibile, avere a disposizione dati di riferimento indipendenti e appropriati in maniera retrospettiva. Nonostante la disponibilità di una serie di informazioni sugli incendi nei Parchi, queste informazioni sono di tipo sintetico, descrivono la data degli eventi e la superficie interessata, e generalmente non hanno associata alcuna informazione di tipo geografico e spaziale, che sono invece necessari per un confronto con la cartografia tematica prodotta dall'elaborazione di dati da satellite.

Infine vi è un problema di carattere tecnico per la valutazione del prodotto da satellite così ottenuto. Il rapporto fra la dinamica temporale degli incendi e quella delle acquisizioni delle immagini satellitari è, come è già stato osservato, uno degli elementi di criticità. Immagini troppo lontane dal verificarsi degli eventi possono non fornire più informazioni adeguate; tuttavia un prodotto sintetico annuale, ottenuto integrando una serie di mappe acquisite in date diverse nel corso dell'anno, consente di compensare, grazie all'analisi di più immagini per uno stesso Parco durante l'anno, i casi non identificati e di confermare i casi dubbi così come verrebbero interpretati dall'analisi di una singola immagine.

6.1 Valutazione statistica del metodo semi-automatico

La valutazione quantitativa del metodo semi-automatico avviene attraverso la stima dell'accuratezza dei risultati ottenuti, cioè la mappa delle aree bruciate ottenuta da una o più immagini.

L'approccio classico alla stima dell'accuratezza di un sistema di classificazione si basa sulla valutazione dei risultati eseguita su un campione della popolazione totale. Gli elementi critici per la validità statistica sono la dimensione del campione e la tecnica di estrazione dello stesso (casuale, stratificato, ecc.) affinché sia rappresentativa della variabilità spaziale del fenomeno descritto dalle immagini.

Lo strumento che viene utilizzato per la stima della accuratezza è la *matrice di confusione*, che permette di sintetizzare le informazioni ottenute dal confronto per ogni pixel del campione tra la mappa da valutare e quella di riferimento; a partire dalla matrice di confusione si possono calcolare alcuni indici che quantificano l'accuratezza della classificazione. La matrice è una tabella delle coincidenze (*contingency table*) (Tab 6.1) in cui gli elementi sulla diagonale principale rappresentano i casi di corretta classificazione, cioè i casi di accordo fra classificazione e verità, mentre gli elementi al di fuori della diagonale rappresentano gli errori di classificazione, cioè i casi di mancanza di accordo fra classificazione e verità.

Tab. 6.1 Matrice di confusione in uno schema a q classi. Il generico termine p_{ij} rappresenta la proporzione di area (pixel) appartenente alla *categoria-i* per classificazione (righe) e alla *categoria-j* nel riferimento (colonne).

		DATI DI RIFERIMENTO (colonne)				
		1	2	...	q	Totali della mappa
DATI DI CLASSIFICAZIONE (righe)	1	p_{11}	p_{12}	...	p_{1q}	p_{1+}
	2	p_{21}	p_{22}	...	p_{2q}	p_{2+}
	\vdots	\vdots	\vdots	...	\vdots	\vdots
	q	p_{q1}	p_{q2}	...	p_{qq}	p_{q+}
Totali del riferimento		p_{+1}	p_{+2}	...	p_{+q}	

Gli indici fondamentali derivabili sono:

1) *Accuratezza Globale AG*, definita dal rapporto fra il totale degli accordi e il totale n dei campioni di test. Rappresenta la probabilità che un punto estratto a caso sia classificato correttamente nella mappa tematica.

$$AG = \frac{\sum_{k=1}^q p_{kk}}{n} \quad \text{Accuratezza Globale}$$

In modo simile è possibile determinare l'accuratezza delle singole classi. Tuttavia in questo caso si hanno due possibili alternative: dividere il numero di pixel corretti p_{kk} della classe (cella $i=j$ nella matrice) o per il totale della riga p_{i+} o per il totale della colonna p_{+j} .

2) *Accuratezza Utente UA (user accuracy)* per la classe i , definita dal rapporto fra il totale dei pixel corretti della classe i e il numero totale di pixel che sono stati assegnati a quella classe dalla classificazione (totale di riga):

$$UA = \frac{p_{ii}}{p_{i+}} \quad UA = 1 - \text{Commissione}$$

Indica la probabilità condizionale che un pixel scelto a caso tra quelli appartenenti alla classe i nella mappa tematica, appartenga alla classe i nei dati di riferimento.

3) *Accuratezza Produttore PA (producer accuracy)* per la classe j , definita dal rapporto fra il totale dei pixel corretti della classe j e il numero totale di pixel di quella classe presenti nel riferimento (totale di colonna):

$$PA = \frac{p_{jj}}{p_{+j}} \quad PA = 1 - \text{Omissione}$$

Indica la probabilità condizionale che un pixel scelto a caso tra quelli appartenenti alla classe j nel riferimento, appartenga alla classe j nella mappa tematica, ossia la probabilità che i pixel del riferimento siano classificati correttamente.

Problema del campionamento

In genere nei casi di classificazione a due classi (per esempio, bruciato/non bruciato), le dimensioni delle popolazioni sono squilibrate con effetti sulle probabilità associate.

Nel caso specifico delle aree bruciate nei Parchi, le probabilità delle classi "Bruciato" e "Non Bruciato" sono in un rapporto di uno a qualche per mille (es. Pollino 14 sett 2004: "Bruciato" è 0.004 e "Non Bruciato" è 0.996) rendendo difficile rispettare le condizioni di numerosità sul campione.

Per comprendere la problematicità della questione, si descrive un caso esemplificativo (Parco dell'Aspromonte, Immagine 08 Sett. 2001 b) dei dati a

disposizione. Dalla classificazione dell'immagine, si ottiene una mappa binaria con superfici descritte in Tabella 6.2.

Tabella 6.2 Proporzione della popolazione delle due classi Bruciato e Non Bruciato

Aspromonte Immagine 08 Sett 2001 b

	Popolazione	Probabilità %
Bruciato	7817	0,248
Non Bruciato	3145074	99,752
	3152891	100,000

Utilizzando una tecnica di campionamento casuale stratificato per classi e scegliendo un pari numero di pixel per le due classi (ad esempio circa 100), l'operazione di fotointerpretazione dell'esperto produce una matrice di confusione come quella sotto riportata:

Tab. 6.3 Esempio di matrice di confusione ottenuta dal campionamento casuale stratificato.

	Bruciato	Non Bruciato	Tot Riga	U.A.	Commiss
Bruciato	84	0	84	100	0
Non Bruciato	1	99	100	99,0	1,00
	85	99	184		
P.A.	98,824	100		O.A.	99,457
Omiss	1,176	0			

Poiché le popolazioni delle due classi sono così squilibrate, utilizzando le formule correttive suggerite in letteratura (Stehman & Czaplewski, 1998), si generano valutazioni anomale tipo quella dell'esempio, in cui un singolo pixel errato ha un peso pari all'80% dell'errore totale di omissione.

Tabella 6.4 Matrice di errore ottenuta mediante applicazione dei fattori di correzione sulla popolazione

	Bruciato	Non Bruciato	Tot Riga	U.A.	Commiss
Bruciato	0,248	0,000	0,248	100,000	0,000
Non Bruciato	0,998	98,755	99,752	99,000	1,000
Tot Col	1,245	98,755	100,000		
P.A.	19,907	100,000		O.A.	99,002
Omiss	80,093	0,000			

Per ovviare a questo problema, utilizzando una tecnica di campionamento casuale stratificato per classi, scegliendo un campione di 100 pixel per la classe "Bruciato", richiederebbe di estrarre un campione di pixel della classe "non Bruciato" di tre ordini di grandezza maggiore (circa 50.000 pixel). Tale soluzione diviene impraticabile in termini di tempo da dedicare alla fotointerpretazione dei singoli campioni da parte dell'esperto.

Confronto con mappe da fotointerpretazione

Non avendo quindi a disposizione dei dati di riferimento indipendenti adeguati, costituiti cioè da rilevamenti sul terreno eseguiti opportunamente o fotografie aeree acquisite nei tempi opportuni, ed essendo praticamente non fattibile una corretta estrazione del campione, l'informazione di riferimento è stata costruita mediante la foto-interpretazione di venti immagini ASTER selezionate come rappresentative. Le aree percorse dal fuoco sono state quindi delimitate in maniera visuale (fotointerpretazione) da due esperti indipendenti che hanno tracciato i perimetri a video utilizzando diverse combinazioni in falso colore (RGB: 832 e 321), aiutandosi quando possibile anche con immagini acquisite in precedenza.

Il ricorso alla fotointerpretazione da parte dell'esperto implica comunque un certo grado di errore. Infatti da un semplice esperimento realizzato mediante un campionamento casuale stratificato su una serie di campioni di 100 pixel estratti da diverse immagini dallo strato "Bruciato", mediamente si è rilevata una discordanza del 14 % tra i dati classificati da due distinti operatori. Inoltre in alcuni casi il fotointerprete seleziona come aree bruciate, poligoni di aree "vecchie" che il metodo semi-automatico non include (errore di omissione) poiché spettralmente non più identificabili. Grazie all'analisi multitemporale scelta per la produzione del database annuale delle aree percorse dal fuoco (APFS) è però possibile che tali aree non classificate in una data immagine vengano rilevate in immagini precedenti dello stesso anno, o addirittura dall'analisi di dati dell'anno precedente.

Fra tutte le immagini processate in modo semi-automatico è stato scelto un campione (19 immagini) che fosse rappresentativo della variabilità delle condizioni incontrate. Per poter ottenere un numero di eventi sufficiente ed una varietà di

condizioni significativa, sono state scelte immagini relative ai Parchi più colpiti dagli incendi per più anni (Tab 6.5).

Tabella 6.5. Immagini ASTER scelte per la fotointerpretazione delle aree bruciate per la validazione.

PARCO	IMG Prec	DATA IMG	Fotointerpretazione		Metodo automatico		CFR TOTALE	
			n. poligoni	ha	n. poligoni	ha	PA	UA
Gargano	non disponibile	20/07/2001 a	19	73	8	46	54	89
		17/08/2002	14	44	3	20	32	68
		05/09/2003	19	171	14	132	46	59
		14/09/2004 a	16	28	10	22	42	72
Pollino	06/07/2001 (a,b)	08/09/2001 a	28	319	12	202	61	98
		29/07/2001	7	70	7	18	35	67
	29/07/2001	11/08/2003 b	36	291	33	214	53	73
		14/09/2004 b	71	827	45	400	44	91
Cilento	20/07/2001 (a,b)	29/07/2001 b	17	40	16	41	62	62
		10/07/2003 a	27	107	25	85	65	85
		05/09/2003 b	66	333	28	153	43	95
		23/09/2004 b	6	46	7	9	56	52
		24/07/2005 b	22	117	10	36	29	94
Sila	11/08/2000	06/07/2001 a	19	270	12	148	49	91
Aspromonte	06/07/2001 (a,b)	08/09/2001 b	14	74	6	23	29	97
		06/07/2001 b	26	154	12	86	52	94
		28/07/2003 b	3	28	5	17	55	90
Vesuvio	25/06/2001	17/07/2003	10	68	5	45	65	99
		05/09/2004	19	73	8	46	54	89

442	3123	263	1724	48	82
------------	-------------	------------	-------------	-----------	-----------

Osservando i valori ottenuti caso per caso, PA (Accuratezza Produttore) varia fra un minimo di 29 % ad un massimo di 65 %, mentre UA (Accuratezza Utente) è mediamente pari a 82%.

Globalmente, cioè mettendo insieme le matrici di confusione ottenute da tutte le immagini, si ottiene la matrice di confusione di Tab 8.7 che fornisce un valore PA=48% e UA=85%. L' Accuratezza Globale (AG) è sempre del 99%, ma è sostanzialmente determinata dal fatto che la popolazione della classe "non Bruciato", riconosciuta con valori di UA e PA del 99.8 %, ha una numerosità 500 volte superiore alla classe bruciato distortendo l'indice AG.

Tabella 6.6. Matrice di confusione globale (tutte le 19 scene ASTER scelte per la validazione)

		riferimento			U.A.
		Bruciato	Non Bruciato		
classificazione	Bruciato	66823	11399	78222	85
	Non Bruciato	72440	53481244	53553684	100
		139263	53492643	53631906	
P.A.		48	100	OA	99

6.2 Valutazione dei perimetri delle aree bruciate

La valutazione dell'accuratezza della perimetrazione delle aree bruciate da satellite risulta difficile, se non impossibile, a causa della mancanza di dati di riferimento spaziali adeguati (per esempio, fotointerpretazione di foto aeree, schede e mappe AIB del CFS, dei PN, dei Comuni e di altri enti locali interessati, rilievi a terra tramite GPS, ecc.).

Tuttavia grazie a una collaborazione fra CFS/MIPAAF – DPN/MATTM – IREA/CNR si è realizzata una analisi congiunta dei risultati ottenuti dai rilievi delle aree percorse dal fuoco nel Parco nazionale del Pollino nel 2004 ed eseguiti a terra dal personale del Corpo Forestale dello Stato del MIPAAF e quelli individuati con l'interpretazione delle immagini ASTER.

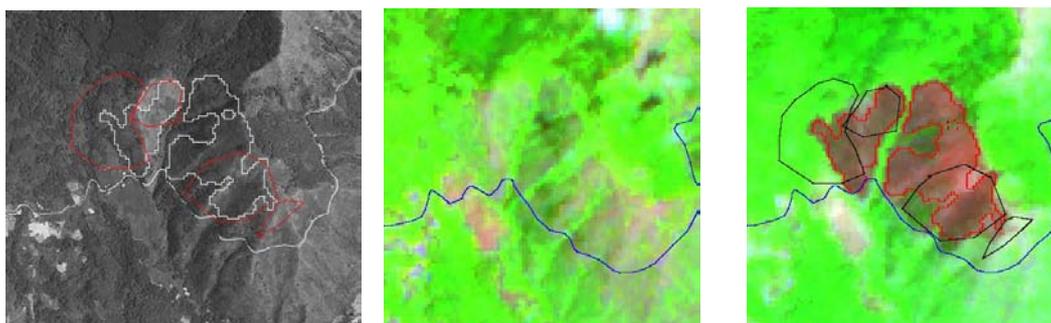


Figura 35. Località Acqua della vecchia
Ortofoto, ritaglio dell'immagine del 01/08/02 (centro) e del 14/09/04 (a destra).

Questo confronto ha messo in evidenza che, nel complesso, la perimetrazione di incendi boschivi realizzata dalle immagini da satellite appare molto valida ed in alcuni

casi è l'unica fonte di informazione per aree bruciate che non sono state perimetrate in altro modo). Tuttavia l'approccio ottimale dovrebbe prevedere l'integrazione informativa dei perimetri rilevati a terra con lo strumento GPS e quelli identificati nei dati satellitari. Per una descrizione completa ed i dettagli dei casi analizzati, si fa riferimento all'Allegato 3 (Contributo congiunto CFS/MIPAAF-DPN/MATTM-IREA/CNR).

Infine, per sei Parchi del Sud, alcuni fra i maggiormente interessati dal fenomeno degli incendi, è stata eseguita un'analisi per evidenziare quanto di potenzialmente rilevabile sulle immagini sia stato effettivamente rilevato.

Per fare ciò sono stati messi a confronto i perimetri individuati sulle immagini ASTER e SPOT con gli eventi registrati sulle stesse aree nel data base CFS (disponibili dal 2003) a partire da 60 giorni prima della data di acquisizione dell'immagine.

Tabella 6.7. Confronto fra dati potenzialmente rilevabili da satellite e dati DB CFS.

GARGANO EUAP0005 sup (ha) 118.144									
ANNO	Dati BD CFS (*)		ASTER			Rapporto (Aster/CFS)		Differenza (Aster-CFS)	
	n. Incendi	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)
2003	42	369	7	30	216,2	0,71	0,59	-12	-152,80
2004	5	26	10	37	135,4	7,40	5,21	32	109,40
2005	7	58	4	12	163,7	1,71	2,82	5	105,70
								+25	+62

POLLINO EUAP0008 sup (ha) 171.132									
ANNO	Dati BD CFS (*)		ASTER			Rapporto (Aster/CFS)		Differenza (Aster-CFS)	
	n. Incendi	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)
2003	28	211	21	54	313,7	1,93	1,49	26	102,70
2004	38	370	10	47	440	1,24	1,19	9	70,00
2005	14	103	7	9	99,2	0,64	0,96	-5	-3,80
								+30	+169

CILENTO EUAP0003 sup (ha) 178.172									
ANNO	Dati BD CFS (*)		ASTER			Rapporto (Aster/CFS)		Differenza (Aster-CFS)	
	n. Incendi	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)
2003	95	544	11	55	279	0,58	0,51	-40	-265,00
2004	79	778	13	53	278,8	0,67	0,36	-26	-499,20
2005	83	490	8	70	419,3	0,84	0,86	-13	-70,70
								-79	-835

SILA EUAP0012 sup (ha) 73.695									
ANNO	Dati BD CFS (*)		ASTER			Rapporto (Aster/CFS)		Differenza (Aster-CFS)	
	n. Incendi	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)
2003	0	0	8	2	5,2	n. d.	=	2	5,20
2004	0	0	2	1	2,5	=	=	1	2,50
2005	0	0	2	0	0	=	=	0	0,00
								+3	+8

ASPROMONTE EUAP0011 sup (ha) 76.053									
ANNO	Dati BD CFS (*)		ASTER			Rapporto (Aster/CFS)		Differenza (Aster-CFS)	
	n. Incendi	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)
2003	11	111	10	24	244,4	2,18	2,20	13	133,40
2004	0	0	4	2	17,8	==	==	2	17,80
2005	13	126	6	32	276,9	2,46	2,20	19	150,90
								+34	+302

VESUVIO EUAP0009 sup (ha) 7.259									
ANNO	Dati BD CFS (*)		ASTER			Rapporto (Aster/CFS)		Differenza (Aster-CFS)	
	n. Incendi	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)
2003	1	4	2	5	17	5,00	4,25	4	13,00
2004	10	33	5	7	57,9	0,70	1,75	-3	24,90
2005	4	10	4	0	0	0,00	0,00	-4	-10,00
								-3	+28

Da questa analisi è possibile osservare che per i sei Parchi esaminati si ha in genere un numero maggiore di eventi e di superfici rilevate con le immagini satellitari rispetto ai dati CFS. Il contrario avviene per il Parco del Cilento in particolare per l'anno 2004. Da un'analisi dei dati gli incendi si concentrano per la maggior parte tra agosto e settembre. Per il rilievo di tali fenomeni si hanno a disposizione solo due date di immagini, 14 e 23 settembre. Tali dati risultano per la maggior parte nuvolosi

riducendo perciò la capacità di indagine del metodo. L'analisi dei immagini successive nella stagione (novembre e dicembre) ha permesso in parte di compensare questa sottostima grazie alla fotointerpretazione dell'operatore. Tale operazione è però risultata limitata in quanto tra gli eventi e l'acquisizione dell'immagine potevano essere trascorsi anche più di tre mesi con conseguenza ricrescita della vegetazione e riduzione della capacità diagnostica di riconoscimento. Data la tipologia vegetazionale in questo parco infatti gli effetti del fuoco non sono più visibili anche dopo poche settimane. Infine è da ricordare che questo tipo di confronto non permette una valutazione sistematica. Vi sono infatti casi in cui il confronto con un singolo evento presenta una maggiore estensione delle aree bruciate ricavate da satellite rispetto a quelle indicate nel db.

Un ulteriore confronto in termini di numeri di poligoni individuati e aree associate è stato fatto anche con i risultati ricavabili dai vettori disponibili nei dati CFS/GPS, pur con tutte le problematiche analizzate nel documento congiunto CFS-DPN-CNR (All. 2). Tale analisi mette in evidenza lo stesso tipo di comportamento identificato precedentemente, in cui i perimetri rilevati da satellite sono più numerosi di quelli ottenuti in campo e corrispondono globalmente a superfici più estese.

Tabella 6.8. Confronto fra dati potenzialmente rilevabili da satellite e dati GPS/CFS.

GARGANO									
ANNO	Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Rapporto (Aster/GPS)		Diff. (Aster-GPS)	
	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)
2004	3	15,3	10	37	135,4	12,33	8,85	34	120
2005	9	129,7	4	12	163,7	1,33	1,26	3	34
								+37	+154

POLLINO									
ANNO	Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Rapporto (Aster/GPS)		Diff. (Aster-GPS)	
	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)
2004	38	335	10	47	440	1,24	1,31	9	105
2005	10	74,1	7	9	99,2	0,90	1,34	-1	25
								+8	+130

CILENTO									
ANNO	Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Rapporto (Aster/GPS)		Diff. (Aster-GPS)	
	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)
2005	54	286,4	8	70	419,3	1,30	1,46	16	133
								+16	+133

Il caso del Cilento, in cui si può osservare che i valori ottenuti da satellite si collocano a metà fra quelli DB CFS e quelli vettoriali GPS/CFS (Tabella 6.9), mette in evidenza ancora una volta la complementarietà delle informazioni e la necessità che esse debbano essere integrate fra di loro.

Tabella 6.9. Confronto fra dati potenzialmente rilevabili da satellite e dati DB/CFS e GPS/CFS.

CILENTO 2005	n. Incendi	sup (ha)
Dati BD CFS (*)	83	490
Vettori GPS/CFS (**)	54	286,4
ASTER	70	419,3

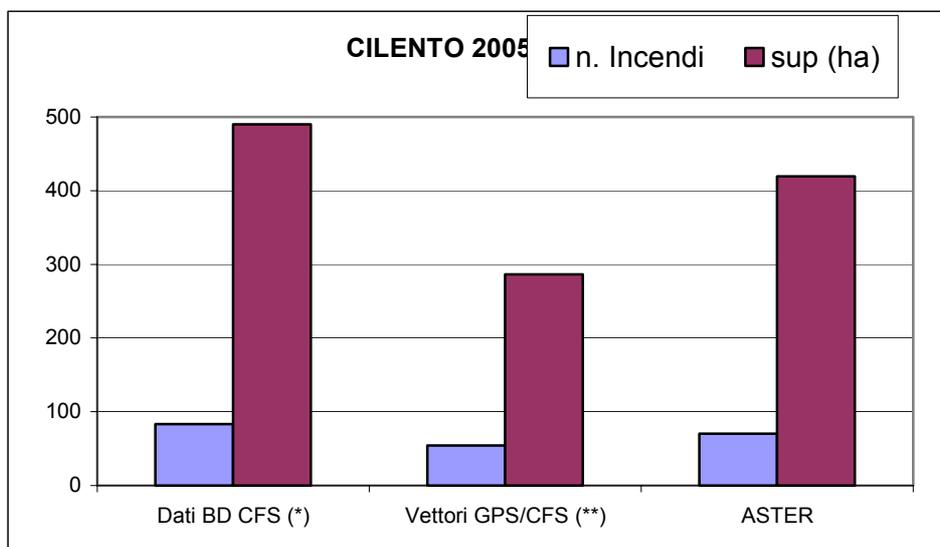


Figura 36. Confronto fra tre tipi di informazioni per il PN del Cilento nel 2005.

Una analisi statistica di tutto il data base dei perimetri rilevati da satellite mostra (Figura 37 e 38) che la loro distribuzione per classi di superficie sia come numero di incendi sia come aree è del tutto paragonabile a quanto descritto in letteratura dall'analisi delle serie storiche decennali dal 1990 al 2000 (Blasi et al., 2004). Il 50 %

della superficie percorsa dal fuoco è dovuta alle classi di superficie > 20 ha che corrispondono a meno del 10 % degli eventi rilevati a satellite.

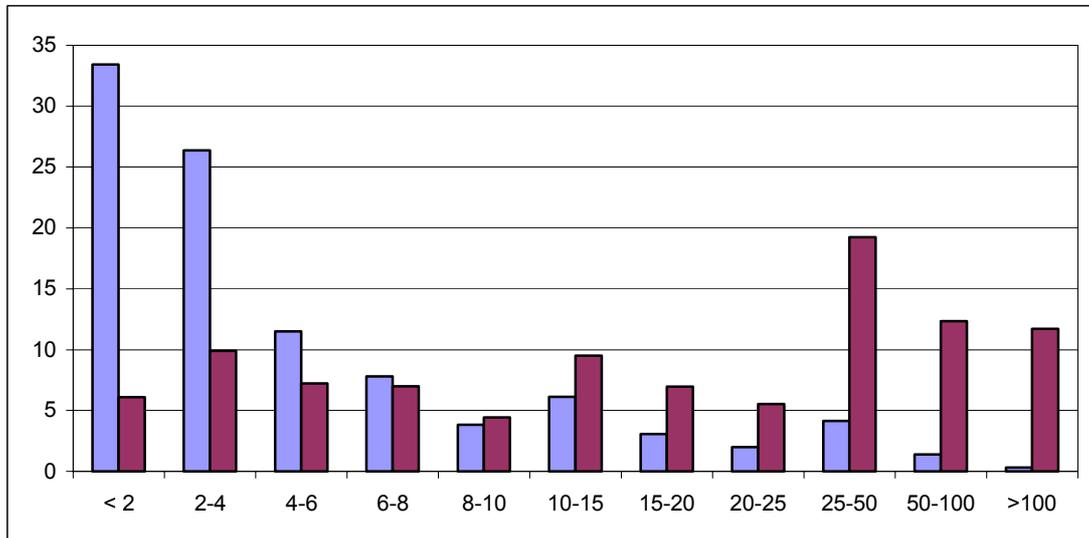


Figura 37. Distribuzione percentuale di frequenza di eventi-incendio (blu) e di superficie percorsa (marrone), per classi di superficie nei PN derivata da immagini ASTER e SPOT (2001-2005).

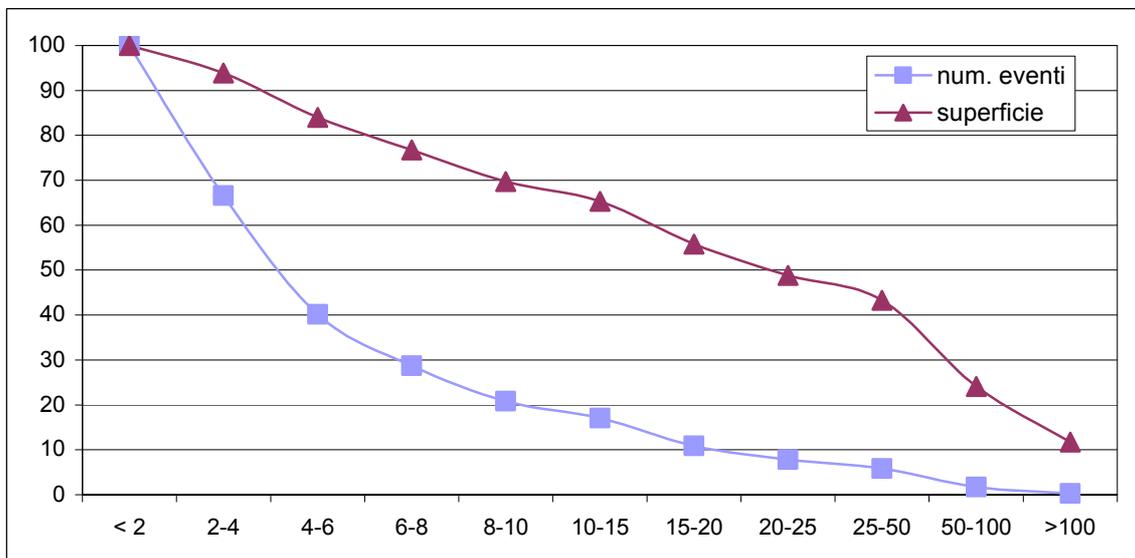


Figura 38. Distribuzione percentuale cumulativa di frequenza di eventi-incendio e di superficie percorsa, per classi di superficie nei PN derivata da immagini ASTER e SPOT (2001-2005).

Il confronto dei diversi metodi di rilievo delle aree percorse dal fuoco e le varie osservazioni sopra riportate supportano la tesi di una validità oggettiva dei perimetri

rilevati da satellite, nonché l'importanza di integrare e confrontare questi perimetri con i poligoni da GPS ottenibili con i sopralluoghi post incendio.

Questa cartografia delle aree percorse dal fuoco è utilizzabile come importante informazione georiferita che, appoggiata su altri strati informativi come le ortofoto, una buona carta della vegetazione o una buona carta della morfologia (DTM), permettono valutazioni importanti ai fini della pianificazione e della lotta contro gli incendi boschivi.

7. Conclusioni

I risultati presentati in questo rapporto evidenziano le potenzialità offerte dai dati satellitari per il monitoraggio delle aree percorse da incendio nei Parchi Nazionali.

Le immagini satellitari utilizzate sono state principalmente acquisite dal sensore ASTER ed integrate per l'anno 2005 da quelle del satellite SPOT. Per mezzo di tecniche supervisionate di classificazione sono state delimitate le aree percorse dal fuoco nei Parchi Nazionali italiani per il periodo 2001-2005 per una superficie stimata pari a circa 5000 ha in corrispondenza di 650 eventi, con una dimensione media di 7.7 ha per incendio.

La scelta del metodo per la mappatura delle aree bruciate si è basata sui risultati ottenuti da una fase di sperimentazione condotta sulla regione della Gallura ed i parchi Gargano e Pollino per l'anno 2004. In queste tre aree studio sono stati testati e valutati diversi metodi di classificazione tradizionalmente utilizzati per l'individuazione delle aree bruciate.

A partire dai risultati ottenuti si è definita la metodologia da adottare per la classificazione di tutte le immagini a disposizione del progetto che presentavano aree bruciate: 128 (114 ASTER e 14 SPOT) su un totale di 461 (442 ASTER e 19 SPOT). Sono stati individuati tre approcci da applicare immagine per immagine sulla base delle sue caratteristiche (Maximum Likelihood, integrazione multisoglia degli indici NBR e BAI e fotointerpretazione). Le immagini con poche aree bruciate (63 ASTER e 10 SPOT) sono state classificate tramite fotointerpretazione mentre quelle molto complesse (presenza di nuvole ed ombre delle nuvole) sono state classificate con il metodo Maximum Likelihood (7 ASTER e 4 SPOT). A tutte le altre immagini (44 ASTER) è stato applicato il metodo semi-automatico a soglie multiple degli indici NBR e BAI. Il metodo prevede anche una serie di passi di post-processing che mirano ad eliminare errori grossolani di classificazione che l'operatore può facilmente

individuare visivamente ed eliminare manualmente o tramite filtraggio e operazioni GIS.

Il risultato finale del progetto è costituito da un database vettoriale di mappe delle Aree Percorse dal Fuoco da Satellite (APFS), accompagnato da informazioni quali aree totale bruciata, data del rilievo, data dell'immagine precedente e metodo applicato, perfettamente integrato nel Sistema Informativo Geografico (GIS) della DPN del Ministero.

La valutazione dell'accuratezza globale dei risultati è stata resa complessa dall'assenza di dati di riferimento adeguati (perimetri delle aree bruciate rilevati a terra nei parchi per i cinque anni). Sono stati quindi condotti diversi tipi di analisi volti a stimare diversi aspetti dell'accuratezza. Il metodo semi-automatico basato sugli indici è stato valutato tramite confronto tra classificazione e mappa di riferimento ottenuta da fotointerpretazione per 19 immagini ASTER selezionate per diversi parchi e anni. I risultati hanno messo in evidenza una accuratezza del produttore variabile (29-65%) ed un'accuratezza dell'utente intorno a 80%. L'Accuratezza Globale (AG) per le stesse immagini è risultata del 99%, anche se questo dato è meno significativo perché distorto dalla dimensione numerica della classe *non bruciato* che rappresenta la quasi totalità dei pixel di un'immagine.

Con i dati messi a disposizione dalla DPN e CFS, sia puntuali che vettoriali, sono state condotte delle valutazioni dell'accuratezza del prodotto APFS che hanno evidenziato una capacità delle immagini satellitari di individuare eventi non rilevati a terra. Anche se la limitatezza del dataset non permette di trarre conclusioni definitive, nel complesso, dai risultati ottenuti dal confronto, la perimetrazione di incendi boschivi realizzata con le immagini da satellite appare molto valida ed in ogni caso particolarmente positiva (peraltro unica per gli eventi che per vari motivi non si riescono a perimetrare in altro modo) ed ottimale per l'integrazione informativa con i perimetri ottenibili col GPS dal rilievo a terra.

In generale, i risultati da satellite permettono di localizzare le aree percorse da incendio e di delimitarne il perimetro con un'accuratezza che è funzione soprattutto del tempo trascorso dalla data dell'incendio a quella di acquisizione della scena satellitare. L'utilizzo dei dati satellitari presenta un limite imposto dalla reale disponibilità delle scene sulla zona di interesse che dipende dalla frequenza di

acquisizione da parte del satellite. Inoltre, il numero di immagini realmente utilizzabili può essere ridotto a causa della presenza di nuvole, foschia e fumo nonché dalla distanza temporale rispetto agli eventi di incendio (es. scene nel periodo invernale su parchi dove gli incendi si concentrano nella stagione estiva). Nel caso estremo, alcune zone dell'area di interesse potrebbero non essere coperte da alcuna scena satellitare per l'intero arco della stagione degli incendi e, soprattutto in questi casi, i rilievi a terra diventano l'unica fonte di informazione. Tuttavia, il rilievo tramite immagini da satellite è molto meno oneroso rispetto a quello a terra tramite GPS soprattutto per aree bruciate molto estese, remote o in ambiente morfologicamente complesso. Per contro, il rilievo a terra può essere molto più preciso e individuare aree di dimensioni ridotte che la risoluzione spaziale delle immagini non permette di rilevare. I rilievi a terra, oltre a fornire importanti informazioni sia per la validazione delle mappe derivate dai dati satellitari sia per integrarle e completarle laddove presentino errori di omissione (area bruciata non individuata), rimangono un elemento fondamentale nel monitoraggio e nelle attività di prevenzione e lotta attiva contro gli incendi.

Infine va sottolineato che per molti dei parchi analizzati le informazioni cartografiche prodotte in questo progetto rappresentano l'unica fonte di informazione esistente. Tali dati, che non rappresentano uno strumento sostitutivo per la realizzazione del catasto delle aree bruciate, risultano di estrema importanza per una sistematica e completa informazione statistica per gli anni 2001-2005 indispensabile sia per studi di ecologia forestale circa le dinamiche e gli effetti degli incendi boschivi sia per la pianificazione delle politiche antincendio.

Anche allo scopo di costruire una sinergia tra diversi gruppi che potrebbero integrare il loro lavoro in un'ottica di monitoraggio a larga scala, è stato realizzato presso la sede del Ministero a Roma un Seminario formativo di tre giorni per i tecnici della DPN-MATT e dei PN sul monitoraggio degli incendi boschivi tramite immagini satellitari. Il corso si è concentrato sulla presentazione della metodologia adottata nella realizzazione del progetto e la successiva gestione su GIS della cartografia informatizzata derivata. Tale iniziativa ha ottenuto un ottimo riscontro di interesse

avendo registrato la partecipazione attiva di 21 persone: 4 della DPN, 15 dei PN e 2 del CFS.

In ultima sintesi, il confronto dei diversi metodi di rilievo delle aree percorse dal fuoco e le varie osservazioni sopra riportate, supportano la tesi di una validità oggettiva dei perimetri rilevati da satellite, nonché l'importanza di integrare e confrontare questi perimetri con i poligoni da GPS ottenibili con i sopralluoghi post incendio.

All'attualità ed ancor più nel futuro, per questi fini, la metodologia utilizzata con le immagini da satellite risulta probabilmente la più veloce ed efficace per processare aree molto vaste in breve tempo, seguendo una metodologia oggettiva, valida, ripetibile e dai costi relativamente contenuti: il monitoraggio sistematico ed esteso a tutto il territorio nazionale delle aree bruciate non potrebbe prescindere dall'utilizzo di una fonte di informazione preziosa come il dato satellitare.

Ringraziamenti.

Per i dati da satellite: l'accesso ai dati ASTER è stato reso possibile grazie al Department of Geography (University of Maryland, USA) nel contesto del progetto "Refinement & Maintenance of the MODIS fire product suite"; il programma OASIS (Optimising Access to Spot Infrastructure for Science) finanziato dalla Commissione Europea ha permesso l'accesso ai dati SPOT.

Per i dati a terra: Il Corpo Forestale dello Stato ha fornito i dati dei rilievi a terra delle aree percorse dal fuoco nei Parchi Nazionali.

Si ringraziano infine per il supporto critico i membri del Comitato Scientifico: Bruno Petrucci (Direzione per la Protezione della Natura, Min. Ambiente), Danilo Mollicone (Max Plank Institute, Jena, Germania), Jean-Marie Grégoire (Global Environment Monitoring, JRC, Ispra), Luigi Boschetti (Università del Maryland, USA), Sandro Federici (Climate Change Unit, JRC).

Referenze bibliografiche

- Blasi C., Bovio G., Corona P., Marchetti M., Maturani A., 2004. *Incendi e complessità ecosistemica: dalla pianificazione forestale al recupero ambientale*. Ministero dell'Ambiente – DPN.
- Boschetti L., H.D. Eva, P.A. Brivio, J.M. Grégoire, 2004. Lessons to be learned from the comparison of three satellite-derived biomass burning products. *Geophysical Research Letters*, Vol. 31, No. 21, L21501 10.1029/2004GL021229.
- Boschetti L., H. Eva, P.A. Brivio and J. Gallego, 2004. The validation protocol of GBA2000 global burned area maps. *IGARSS- 2004*, Vol. 3, pp. 2107- 2110.
- Brivio P.A., M. Maggi, E. Binaghi, I. Gallo, 2003. Mapping burned surfaces in Sub-Saharan Africa based on multi-temporal neural classification. *Int. Journal of Remote Sensing*, Vol. 24 (20): 4003-4018.
- Brivio P.A., G. Lechi, E. Zilioli, 2006. *Principi e metodi di Telerilevamento*. Città Studi Ediz., UTET.
- Cahoon D.R., B.J. Stocks, J.F. Levine, W.R. Cofer and K.P. O'Neill, 1992. Seasonal distribution of African savanna fires, *Nature*, 359: 812-815.
- Chuvienco, E., M.P. Martin and A. Palacios, 2002. Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *International Journal of Remote Sensing*, 23 (23), 5103-5110.
- Congalton R.G., K. Green, 1999, *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*, Lewis Publisher, Boca Raton.
- Csiszar, I., T. Loboda, N.H.F. French, L. Giglio and T.L. Hockenberry, 2005. A multi-sensor approach to fine-scale characterization. Proceedings of the 31th International Symposium on Remote Sensing of Environment, 20-24 June 2005, Saint Peterburg, Russian Federation.
- Crutzen P. J., and M. O. Andreae, 1990. Biomass burning in the tropics: image on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles, *Science*, 250: 1669-1678.
- Hudack A.T. e B. H. Brockett, 2004. Mapping fire scars in southern African savannah using Landsat imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 16, 3231-3243.
- Justice C.O, Giglio L., Korontzi S., Owens J., Morisette J. T., Roy D., Descloitres J., Alleaume S., Petitcolin F. and Kaufman Y., 2002, The MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 83: 244-262.
- Koutsias, N., M. Karteris e E. Chuvienco, 2000. The use of intensity-hue-saturation transformation of Landsat-5 Thematic Mapper data for burned land mapping. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 66, 829-839.
- Pereira, J.M.C., 1999. A comparative evaluation of NOAA/AVHRR vegetation indexes for burned surface detection and mapping. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37 (1), 217-226.
- Pereira, J.M.C., A.C.L. Sà, A.M.O. Sousa, J.M.N. Silva, T.N. Santos and J.M.B. Carreiras, 1998. Spectral characterisation and discrimination of burnt areas. In *Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin*, E. Chuvienco (ed.), Springer-Verlag, Berlino, 123-138.
- Roy, D.P., L. Boschetti and S.N. Trigg, 2005. Remote sensing of fire severity: assessing the performance of the normalized burn ratio. *IEEE Geoscience and Rem. Sensing Letters*, 3, 112-116.

- Stroppiana, D., J.M. Grègoire, J.M.C. Pereira, 2003. The use of SPOT VEGETATION data in a classification tree approach for burnt area mapping in Australian savanna. *International Journal of Remote Sensing*, 24, 2131-2151.
- Stehman, S. and R. Czaplewski, 1998. Design and analysis of thematic map accuracy assessment: fundamental principles. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 64: 331-344.
- Tarantino, C., D. Ragno e C. Pasquariello, 2005. Verifica delle estensioni di aree boschive percorse da incendi: un approccio semiautomatico. Atti della 9° Conferenza Nazionale ASITA, 15-18 Novembre 2005, Catania.
- Tansey K., J. M. Grégoire, D. Stroppiana, A. Sousa, J. Silva, J.M.N. Pereira, L. Boschetti, M. Maggi, P.A. Brivio, R. Fraser, S. Flasse, D. Ershov, E. Binaghi, D. Graetz, P. Peduzzi, 2004. Vegetation burning in the year 2000: Global burned area estimates from SPOT Vegetation data. *J. of Geophysical Research-Atmospheres* Vol. 109 (D14S03) doi:10.1029/2003JD003598.

Publicazioni del Progetto

- Brivio P.A., P. Zaffaroni, M. Boschetti, D. Stroppiana, 2007. Fuzzy based approach for mapping burnt areas in Mediterranean environment using ASTER images. *EARSeL Workshop on Forest Fires*, Thessaloniki (Greece), 27-29 September 2007 (in press).
- Stroppiana D., P.A. Brivio, P. Zaffaroni, , M. Boschetti, D. Mollicone, B. Petrucci, 2007. Burnt area mapping within the border of the Italian National Parks using ASTER images. *Proceedings 27th EARSeL Symposium 2007*, Bolzano (Italy), 4-7 June 2007 (in press).
- Zaffaroni P., D. Stroppiana, P.A. Brivio, M. Boschetti, 2007. Utilizzo di immagini ASTER per la mappatura di aree percorse da incendio. *Rivista Italiana di Telerilevamento*, (in revisione).

ALLEGATI

- Allegato 1.

Aree percorse dal fuoco rilevate da satellite
suddivise per Parco e per anno.

- Allegato 2.

Aree percorse dal fuoco rilevate da satellite
e dati di riferimento disponibili.

- Allegato 3.

Confronto fra aree percorse dal fuoco nel PN del Pollino.

- Allegato 4.

Seminario formativo

Telerilevamento da satellite per gli incendi boschivi

Un sistema integrato per il monitoraggio e la mappatura delle aree percorse da incendio nei Parchi Nazionali attraverso l'utilizzo dei dati da satellite

Convenzione fra Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - Direzione per la Protezione della Natura (DPN) ed il Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (CNR-IREA)

Rapporto Finale

Pietro Alessandro Brivio

Paolo Zaffaroni, Daniela Stroppiana, Mirco Boschetti

CNR, IREA, Milano

ALLEGATI



Milano, luglio 2007



ALLEGATO 1

AREE PERCORSE DAL FUOCO RILEVATE DA SATELLITE SUDDIVISE PER PARCO E PER ANNO

- Gargano
- Pollino
- Cilento e Vallo Diano
- Sila
- Aspromonte
- Vesuvio
- Circeo
- Majella
- Abruzzo Lazio e Molise
- Gran Sasso
- Monti Sibillini
- Foreste Casentinesi
- Appennino Tosco-Emiliano
- Arcipelago Toscano
- Cinque Terre
- Dolomiti Bellunesi
- Stelvio
- Val Grande
- Gran Paradiso
- Arcipelago Maddalena
- Asinara

Parco Nazionale del Gargano

GARGANO 2001					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
25 giugno 2001	1	10	analisi visuale	0	0
20 luglio 2001	2	60/30	indici NBR-BAI	23	106,3
29 luglio 2001	1	40	indici NBR-BAI	9	49,0
totale	4			32	155,3

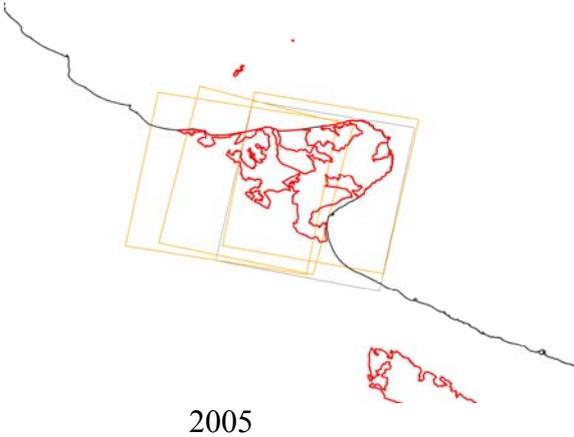
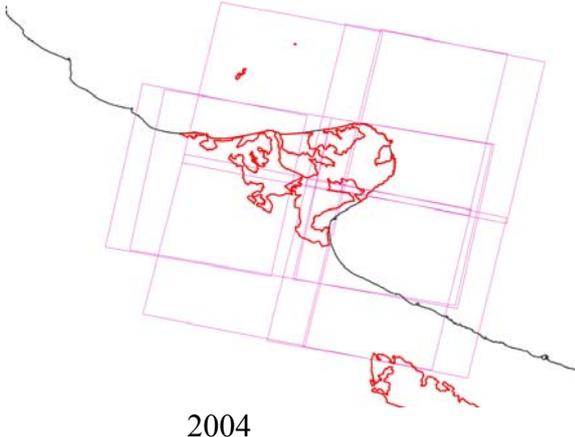
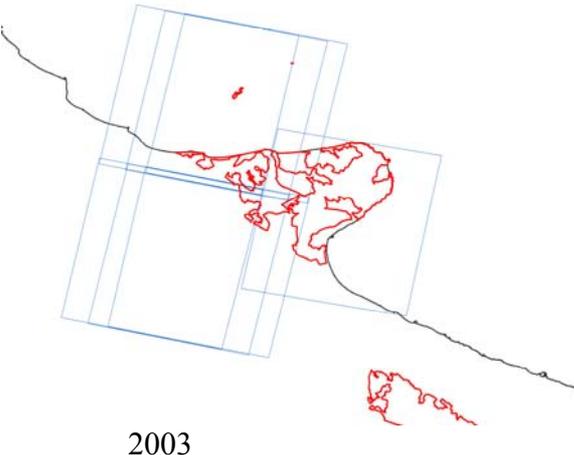
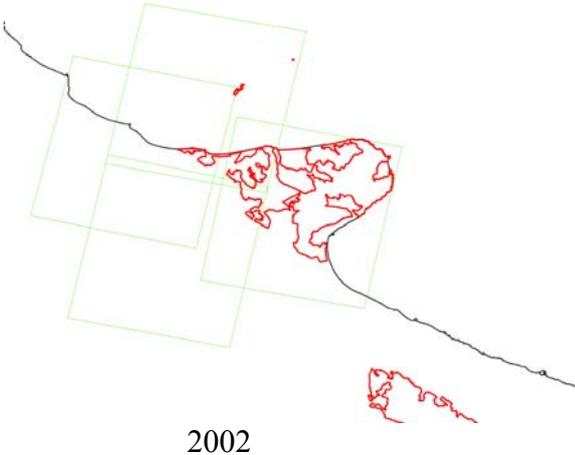
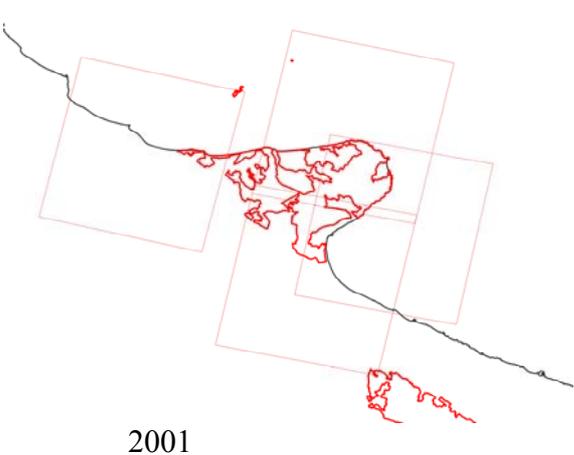
GARGANO 2002					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
13 febbraio 2002	2	20/10	analisi visuale	0	0
17 agosto 2002	1	90	indici NBR-BAI	6	43,1
2 ottobre 2002	1	5	analisi visuale	0	0
totale	4			6	43,1

GARGANO 2003					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
7 maggio 2003	2	20/10	analisi visuale	0	0
10 luglio 2003	2	40/20	analisi visuale	0	0
5 settembre 2003	1	80	maximum likelihood	21	178,4
12 settembre 2003	2	20/10	indici NBR-BAI	9	37,8
totale	7			30	216,2

GARGANO 2004					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
27 gennaio 2004	1	50	analisi visuale	0	0
12 febbraio 2004	1	50	indici NBR-BAI	12	37,0
7 aprile 2004	2	40/20	indici NBR-BAI	5	22,4
28 luglio 2004	2	50/40	indici NBR-BAI	3	14,3
14 settembre 2004	2	30/5	maximum likelihood	15	59,0
23 settembre 2004	1	40	maximum likelihood	2	2,7
12 dicembre 2004	1	50	analisi visuale	0	0
totale	10			37	135,4

GARGANO 2005					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
ASTER 24/07/2005	1	90	maximum likelihood	9	88,5
SPOT 02/08/2005	1	80	analisi visuale	3	75,1
SPOT 09/08/2005	1	80	analisi visuale	0	0,0
SPOT 16/09/2005	1	70	analisi visuale	0	0,0
totale	4			12	163,6

Scene ASTER e SPOT (anno 2005) acquisite sul Parco del Gargano.



AREE BRUCIATE RILEVATE DA SATELLITE PN DEL GARGANO 2001-2005



- Confini Parco
- Regioni

ANNO	N POLIGONI	ETTARI
2001	33	158,5
2002	6	43,1
2003	30	216,2
2004	37	135,4
2005	12	163,7

Un sistema integrato per il monitoraggio e la mappatura delle aree percorse da incendio nei Parchi Nazionali attraverso l'utilizzo dei dati da satellite

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare

IREA - CNR Milano

Parco Nazionale del Pollino

POLLINO 2001					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
6 luglio 2001	2	50/30	analisi visuale	0	0
29 luglio 2001	1	20	indici NBR-BAI	7	38,0
8 settembre 2001	2	30/10	indici NBR-BAI	12	201,8
totale	5			19	239,8

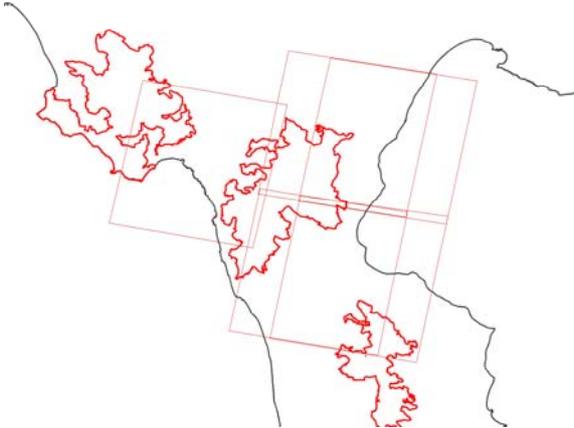
POLLINO 2002					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
14 giugno 2002	2	90/20	analisi visuale	5	24,2
23 giugno 2002	2	40/40	analisi visuale	0	0
7 luglio 2002	2	20/60	analisi visuale	2	8,6
1 agosto 2002	2	90/20	indici NBR-BAI	11	24,5
totale	8			18	57,3

POLLINO 2003					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
13 marzo 2003	2	50/10	analisi visuale	2	8,3
30 aprile 2003	2	90/20	indici NBR-BAI e an. visuale	13	38,0
1 giugno 2003	2	90/20	analisi visuale	1	3,9
8 giugno 2003	2	10/50	analisi visuale - non classificate	0	0
10 giugno 2003	2	50/40	analisi visuale	1	2,9
24 giugno 2003	2	20/60	analisi visuale	0	0
3 luglio 2003	1	30	analisi visuale	1	3,3
12 luglio 2003	2	40/30	analisi visuale	1	2,4
28 luglio 2003	2	40/20	indici NBR-BAI	1	2,6
11 agosto 2003	2	40/70	analisi visuale e indici	33	220,2
24 novembre 2003	2	90/20	analisi visuale	1	32,1
totale	21			54	313,7

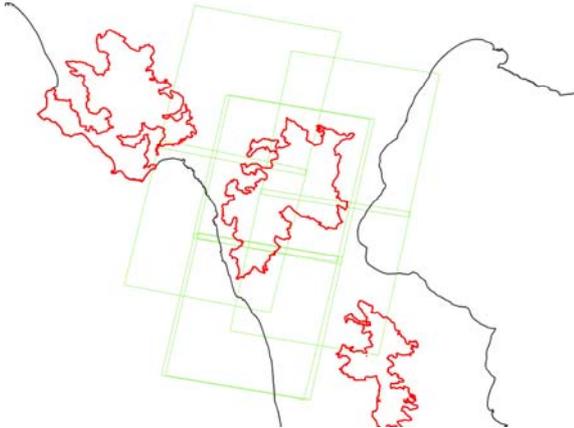
POLLINO 2004					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
10 giugno 2004	2	30/60	analisi visuale	1	5,5
12 giugno 2004	2	40/40	analisi visuale - non classificate	0	0
26 giugno 2004	2	30/60	analisi visuale - non classificate	0	0
21 luglio 2004	2	90/20	analisi visuale - non classificate	0	0,0
14 settembre 2004	2	10/40	an. visuale e maximum likelihood	46	434,5
totale	10			47	440

POLLINO 2005					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
ASTER 22/06/2005	1	20	analisi visuale	0	0
SPOT 09/08/2005	1	30	analisi visuale	2	9,6
SPOT 20/08/2005	2	20/50	an. visuale e maximum likelihood	7	89,6
SPOT 15/10/2005	1	50	analisi visuale	0	0
SPOT 17/10/2005	2	20/60	analisi visuale	0	0
totale	7			9	99,2

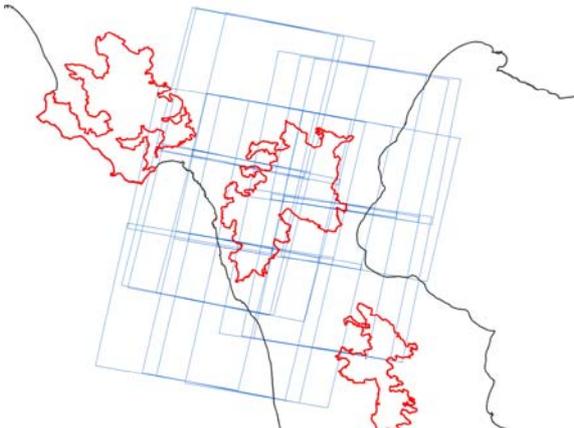
Scene ASTER e SPOT (anno 2005) acquisite sul Parco del Pollino.



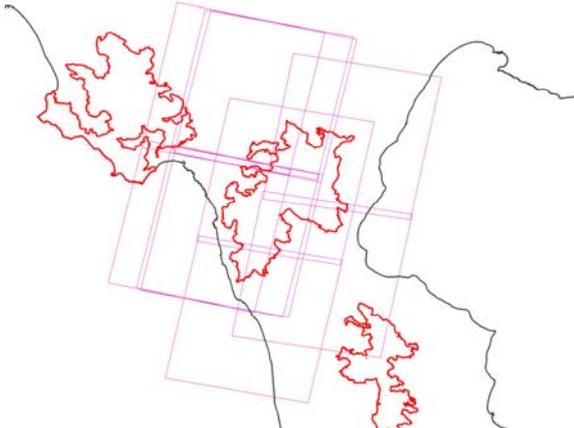
2001



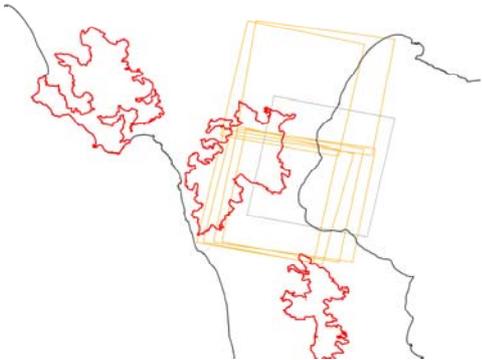
2002



2003

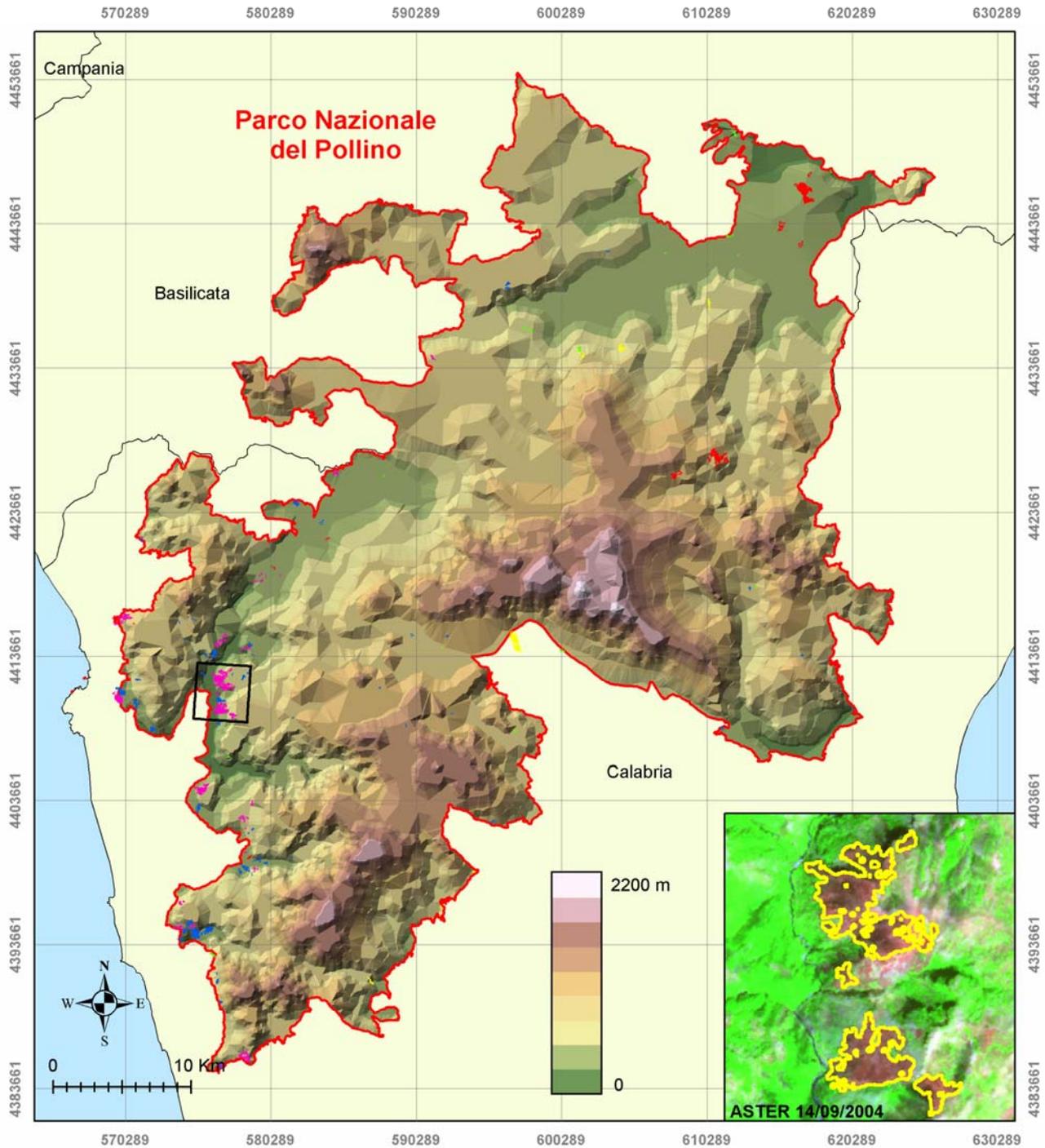


2004



2005

AREE BRUCIATE RILEVATE DA SATELLITE PN DEL POLLINO 2001-2005



- Confini Parco
- Regioni

ANNO	N POLIGONI	ETTARI
2001	19	239,8
2002	18	57,3
2003	54	313,7
2004	47	440
2005	9	99,2

Un sistema integrato per il monitoraggio e la mappatura delle aree percorse da incendio nei Parchi Nazionali attraverso l'utilizzo dei dati da satellite

Parco Nazionale del Cilento e del Vallo di Diano

CILENTO 2001					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
15 aprile 2001	1	20	indici NBR-BAI	8	24,4
20 luglio 2001	2	80/20	analisi visuale e indici NBR-BAI	9	85,9
29 luglio 2001	2	10/30	analisi visuale e indici NBR-BAI	14	35,7
totale	5			31	146,0

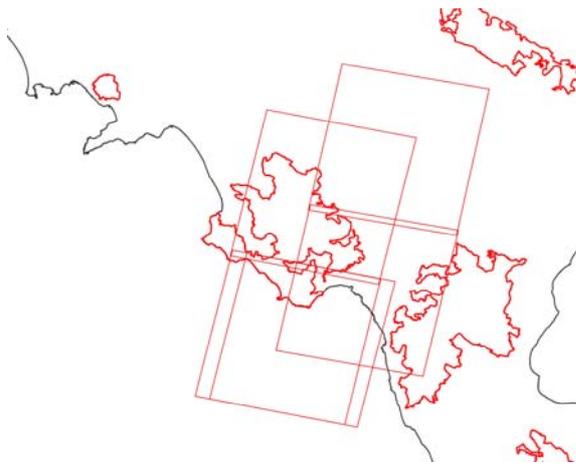
CILENTO 2002					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
7 luglio 2002	1	10	analisi visuale	0	0
17 agosto 2002	2	30/70	analisi visuale e indici NBR-BAI	13	36,0
totale	3			13	36,0

CILENTO 2003					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
13 marzo 2003	2	5/20	analisi visuale	0	0
20 marzo 2003	1	10	analisi visuale	3	4,8
8 giugno 2003	1	10	analisi visuale	0	0
24 giugno 2003	1	10	analisi visuale	0	0
10 luglio 2003	2	50/10	indici NBR-BAI	7	38,7
5 settembre 2003	2	20/70	indici NBR-BAI	33	162,4
12 settembre 2003	2	30/5	indici NBR-BAI e analisi visuale	12	73,1
totale	11			55	279

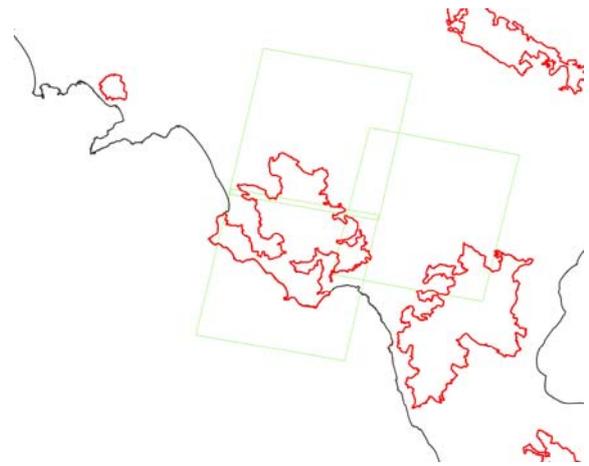
CILENTO 2004					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
25 maggio 2004	1	10	analisi visuale	0	0
10 giugno 2004	1	10	analisi visuale	0	0
26 giugno 2004	1	10	analisi visuale	0	0
28 luglio 2004	2	70/20	analisi visuale	5	9,4
14 settembre 2004	2	50/10	indici NBR-BAI	18	55,0
23 settembre 2004	2	10/30	an. visiva e indici NBR-BAI	28	163,2
17 novembre 2004	2	20/5	indici NBR-BAI e analisi visuale	2	51,1
12 dicembre 2004	2	30/50	analisi visuale - non classificate	0	0
totale	13			53	278,7

CILENTO 2005					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
SPOT 10/05/2005	1	70	maximum likelihood	25	135,5
SPOT 22/05/2005	1	60	analisi visuale	4	7,5
ASTER 24/07/2005	2	30/60	an. visuale e maximum likelihood	8	10,4
ASTER 31/07/2005	2	30/5	indici NBR-BAI e an. visiva	3	7,6
SPOT 26/08/2005	1	90	analisi visuale	22	205,2
SPOT 10/10/2005	1	70	analisi visuale	8	53,0
totale	8			70	419,2

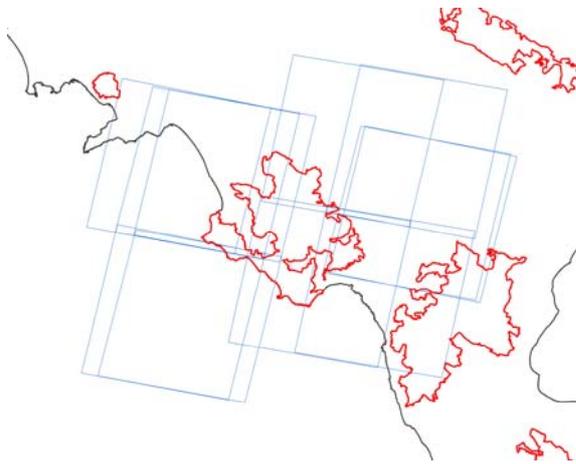
Scene ASTER e SPOT (anno 2005) acquisite sul Parco del Cilento



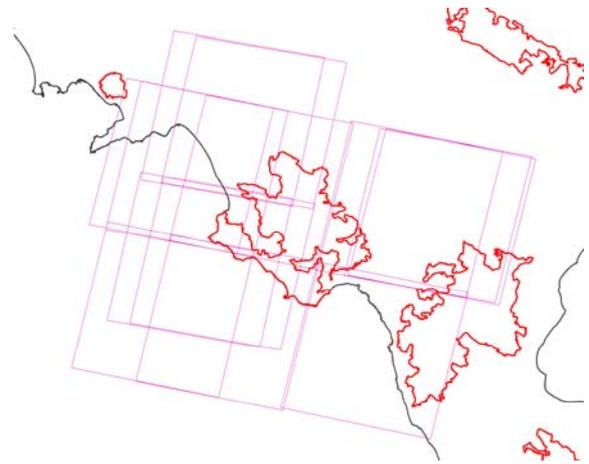
2001



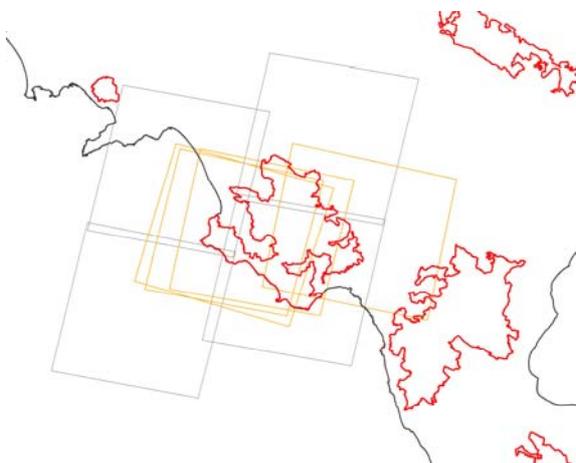
2002



2003

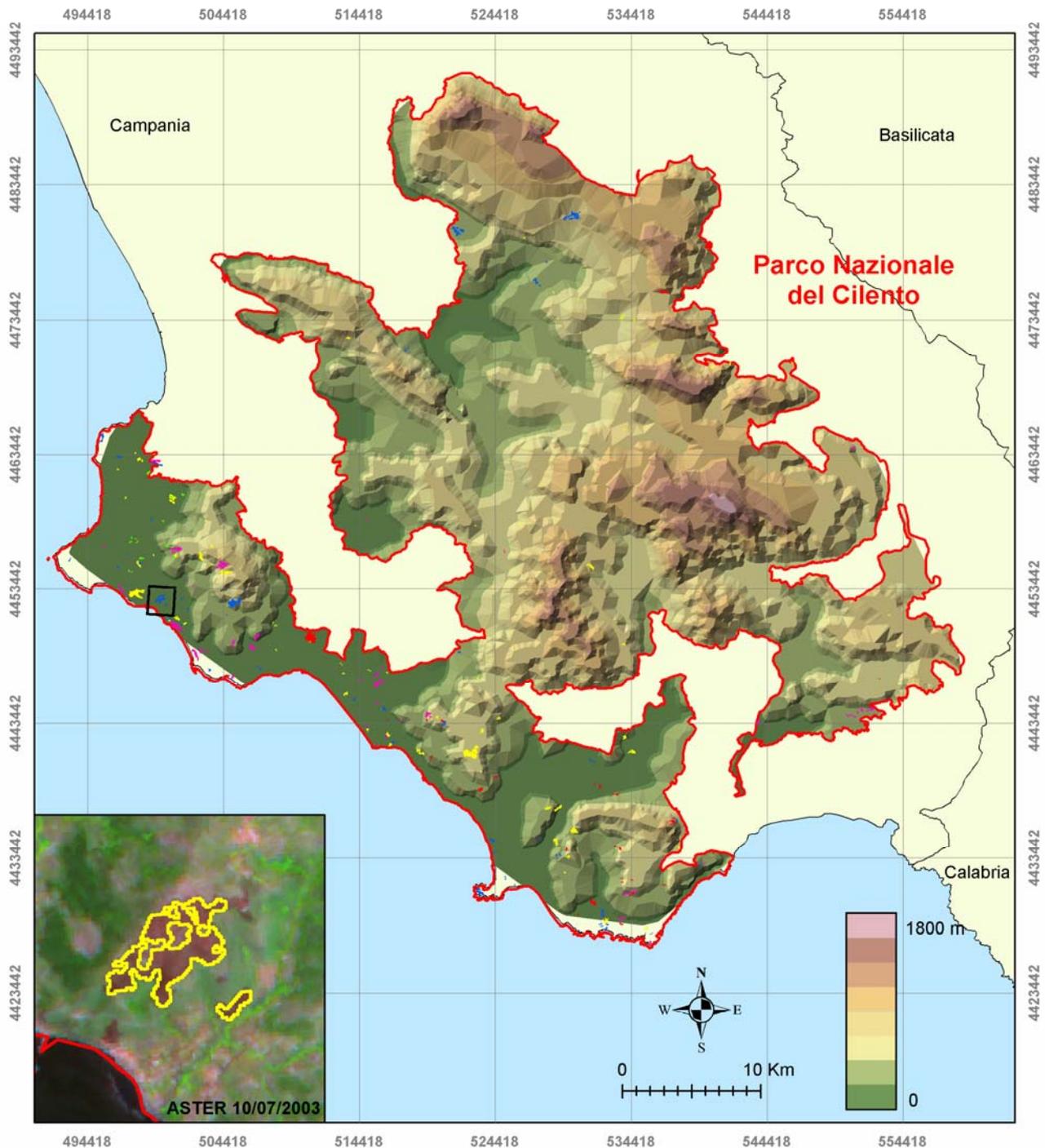


2004



2005

AREE BRUCIATE RILEVATE DA SATELLITE PN DEL CILENTO 2001-2005



- Confini Parco
- Regioni

ANNO	N POLIGONI	ETTARI
2001	31	146
2002	13	36
2003	55	279
2004	53	278,8
2005	70	419,3

Un sistema integrato per il monitoraggio e la mappatura delle aree percorse da incendio nei Parchi Nazionali attraverso l'utilizzo dei dati da satellite

Parco Nazionale della Sila

SILA 2001					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
6 luglio 2001	2	30/30	analisi visuale	10	36,4
8 settembre 2001	2	40/60	analisi visuale	1	1,0
totale	4			11	37,4

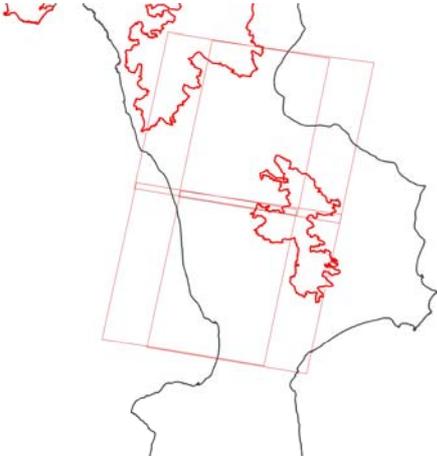
SILA 2002					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
23 giugno 2002	2	20/30	analisi visuale	0	0
totale	2			0	0

SILA 2003					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
10 giugno 2003	2	10/20	analisi visuale	1	4,1
3 luglio 2003	2	90/10	analisi visuale	1	1,1
12 luglio 2003	2	40/40	analisi visuale	0	0
28 luglio 2003	2	40/50	analisi visuale	0	0
totale	8			2	5,2

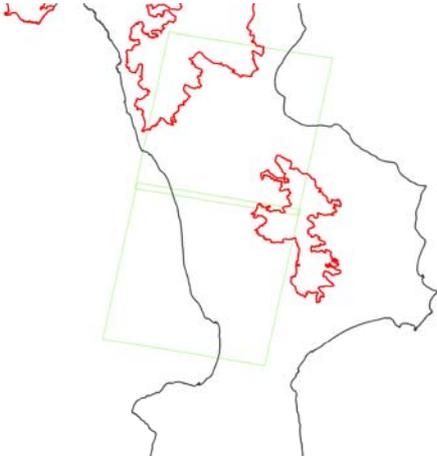
SILA 2004					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
12 giugno 2004	2	30/80	analisi visuale	1	2,5
totale	2			1	2,5

SILA 2005 - immagini ASTER					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
22 giugno 2005	2	90/10	analisi visuale	0	0,0
totale	2			0	0,0

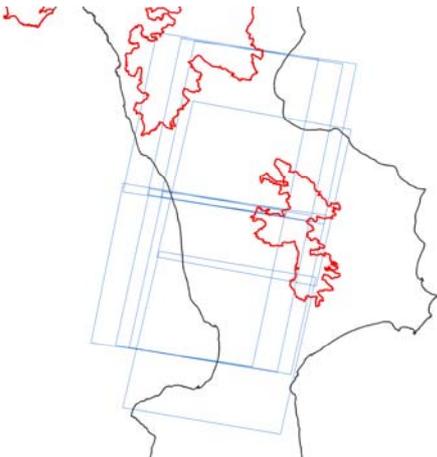
Scene ASTER acquisite sul Parco della Sila



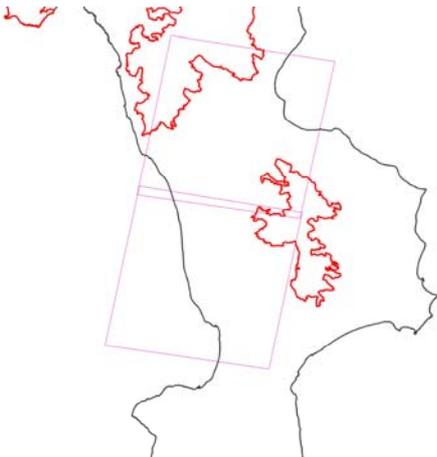
2001



2002



2003



2004



2005

Parco Nazionale dell'Aspromonte

ASPROMONTE 2001					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
2 gennaio 2001	2	10/10	analisi visuale	2	14,4
6 luglio 2001	2	30/80	analisi visuale e indici NBR-BAI	7	27,0
8 settembre 2001	2	30/80	indici NBR-BAI	22	198,5
totale	6			31	239,9

ASPROMONTE 2002					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
14 giugno 2002	2	20/10	analisi visuale	0	0
23 giugno 2002	2	30/80	analisi visuale e indici NBR-BAI	1	5,1
1 agosto 2002	2	10/10	analisi visuale e indici NBR-BAI	1	1,4
totale	6			2	6,5

ASPROMONTE 2003					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
1 giugno 2003	2	10/10	analisi visuale	0	0
10 giugno 2003	2	30/80	indici NBR-BAI e an. Visiva	5	32,9
3 luglio 2003	2	80/30	indici NBR-BAI	5	24,3
12 luglio 2003	2	30/80	analisi visuale	1	7,4
28 luglio 2003	2	30/80	indici NBR-BAI	13	179,6
totale	10			24	244,2

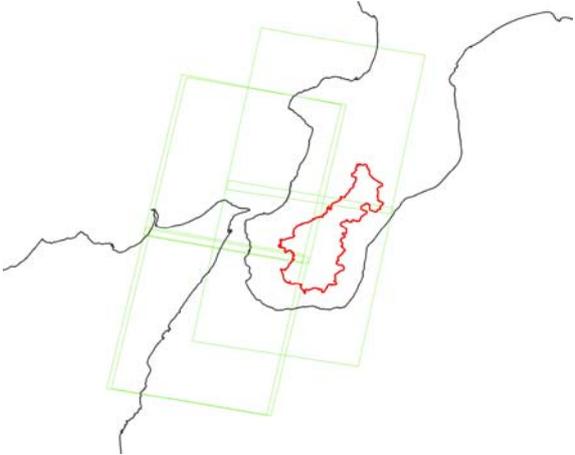
ASPROMONTE 2004					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
12 giugno 2004	2	30/80	analisi visuale	2	17,9
21 luglio 2004	2	20/10	analisi visuale	0	0
totale	4			2	17,9

ASPROMONTE 2005					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
SPOT 12/06/05	1	60	analisi visuale	4	32,0
SPOT 26/06/05	1	70	analisi visuale	3	5,8
SPOT 08/07/05	1	60	analisi visuale	1	38,0
SPOT 15/08/05	2	90/10	an. visuale e maximum likelihood	23	193,3
SPOT 31/10/05	1	90	analisi visuale	1	7,7
totale	6			32	276,8

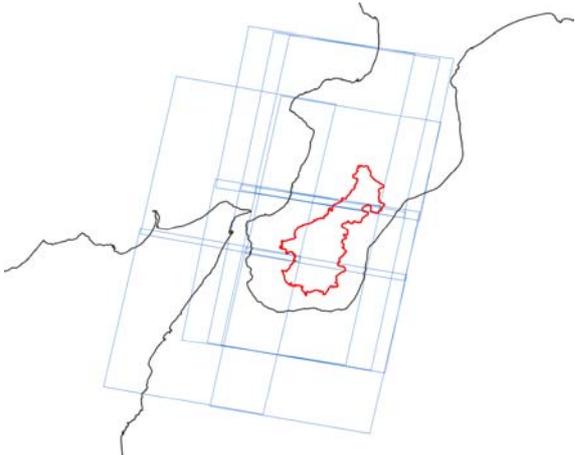
Scene ASTER e SPOT (2005) acquisite sul Parco dell'Aspromonte



2001



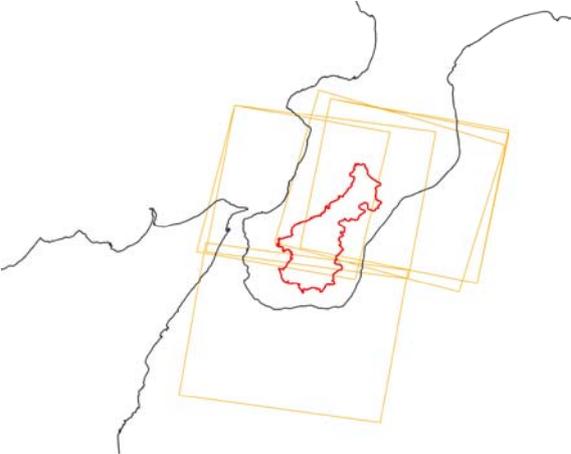
2002



2003

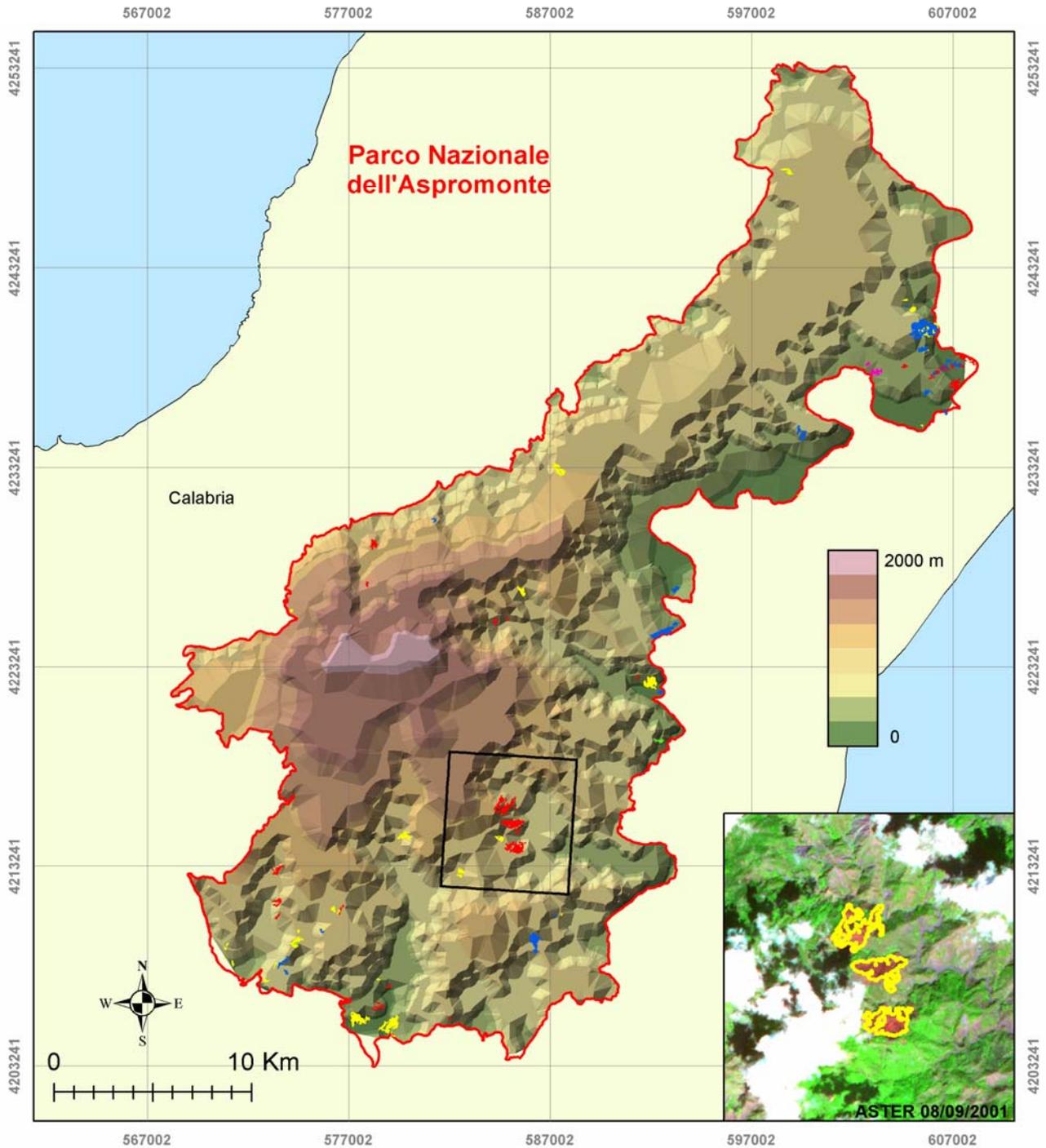


2004



2005

AREE BRUCIATE RILEVATE DA SATELLITE PN DELL'ASPROMONTE 2001-2005



- Confini Parco
- Regioni

ANNO	N POLIGONI	ETTARI
2001	31	240
2002	2	6,5
2003	24	244,4
2004	2	17,8
2005	32	276,9

Un sistema integrato per il monitoraggio e la mappatura delle aree percorse da incendio nei Parchi Nazionali attraverso l'utilizzo dei dati da satellite

Parco Nazionale del Vesuvio

VESUVIO 2001					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
16 gennaio 2001	1	100	analisi visuale	0	0
25 giugno 2001	1	100	analisi visuale	1	3,3
totale	2			1	3,3

VESUVIO 2002					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
4 febbraio 2002	1	100	analisi visuale	0	0
2 ottobre 2002	1	100	analisi visuale	0	0
27 ottobre 2002	2	50/50	analisi visuale	0	0
totale	4			0	0

VESUVIO 2003					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
23 febbraio 2003	1	100	analisi visuale	0	0
17 luglio 2003	1	100	indici NBR-BAI	5	17,0
totale	2			5	17,0

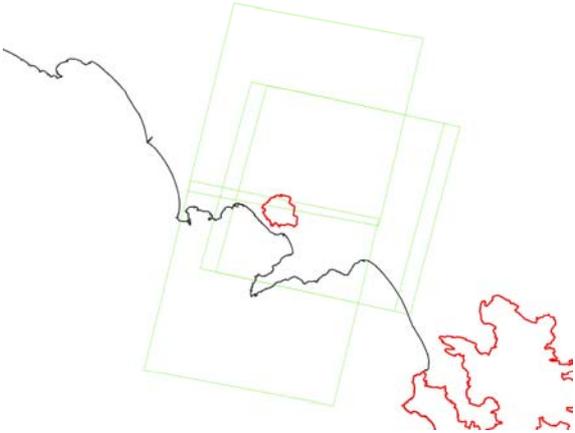
VESUVIO 2004					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
13 marzo 2004	1	100	analisi visuale	0	0
10 luglio 2004	1	100	analisi visuale	0	0
5 settembre 2004	1	100	indici NBR-BAI	5	45,0
30 settembre 2004	2	40/90	analisi visuale	2	12,9
totale	5			7	57,9

VESUVIO 2005					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
16 marzo 2005	1	100	analisi visuale	0	0
29 giugno 2005	2	40/90	analisi visuale	0	0
24 settembre 2005	1	100	analisi visuale	0	0
totale	4			0	0

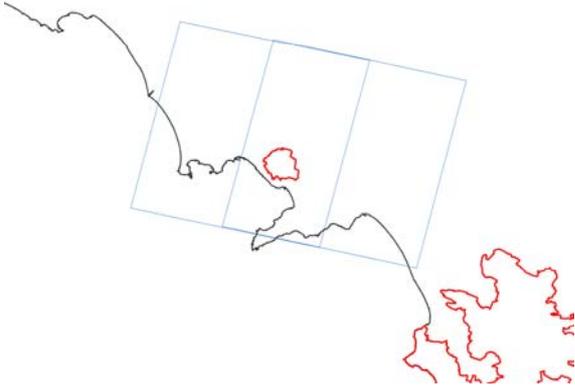
Scene ASTER acquisite sul territorio del Parco del Vesuvio.



2001



2002



2003



2004



2005

Parco Nazionale del Circeo

CIRCEO 2001					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
11 luglio 2001	2	20/95	analisi visuale	0	0
15 ottobre 2001	1	60	analisi visuale	1	28,2
totale	3			1	28,2

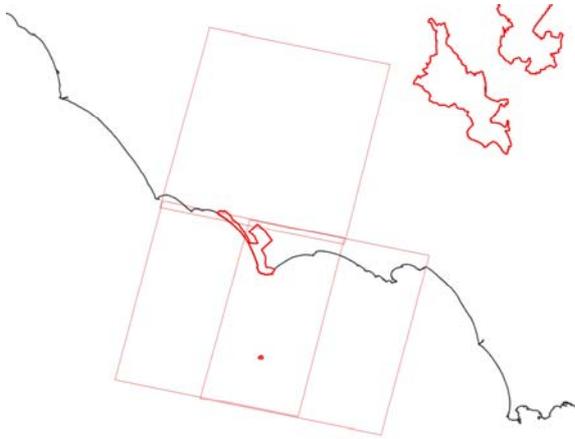
CIRCEO 2002					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
31 agosto 2002	2	10/90	analisi visuale	0	0
totale	2			0	0

CIRCEO 2003					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
9 agosto 2003	1	60	analisi visuale	0	0
19 settembre 2003	2	10/95	analisi visuale	0	0
totale	3			0	0

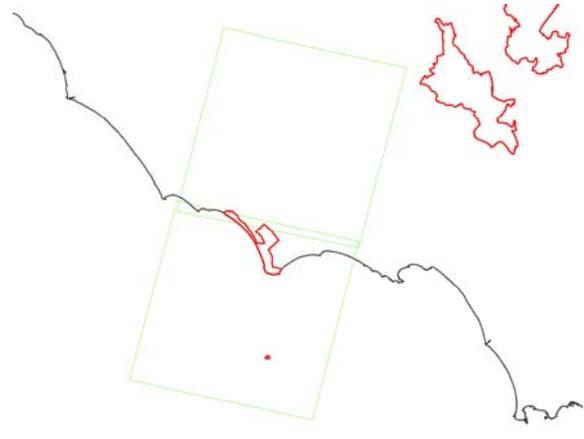
CIRCEO 2004					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
11 agosto 2004	1	95	analisi visuale	0	0
totale	1			0	0

CIRCEO 2005					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
7 marzo 2005	1	100	analisi visuale	0	0
14 agosto 2005	1	90	analisi visuale	1	17,9
4 dicembre 2005	1	100	analisi visuale	0	0
totale	3			1	17,9

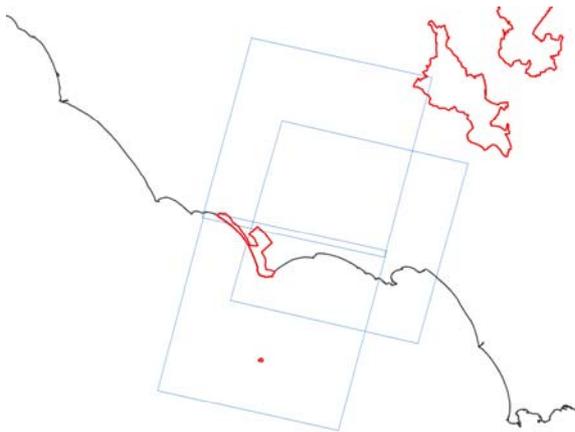
Scene ASTER acquisite sul territorio del Parco del Circeo.



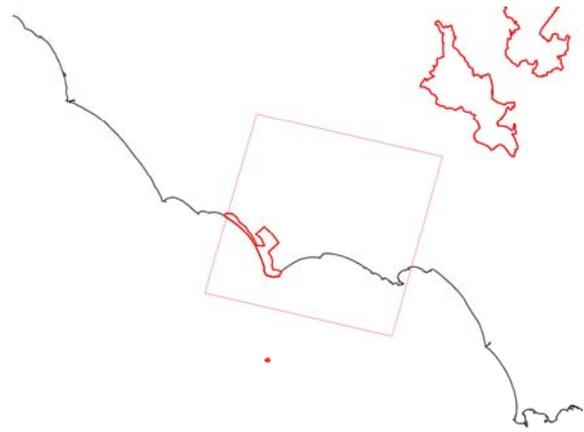
2001



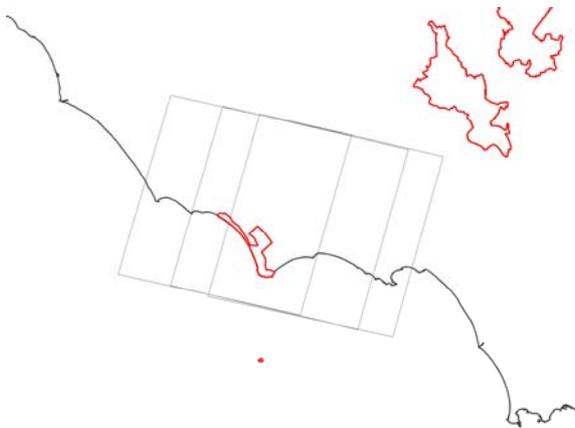
2002



2002



2003



2005

Parco Nazionale della Majella

MAJELLA 2001					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
9 giugno 2001	1	100	indici NBR-BAI	1	3,4
15 ottobre 2001	1	30	analisi visuale	2	45,7
totale	2			3	49,1

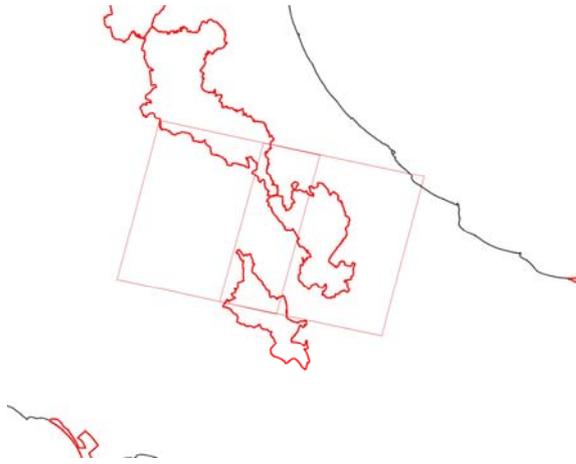
MAJELLA 2002					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
2 aprile 2002	2	50/30	analisi visuale	0	0
8 agosto 2002	2	70/40	analisi visuale	0	0
9 settembre 2002	2	70/40	analisi visuale	0	0
totale	6			0	0

MAIELLA 2003					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
11 marzo 2003	1	90	analisi visuale	0	0
15 giugno 2003	1	50	analisi visuale	0	0
9 agosto 2003	2	30/20	analisi visuale	0	0
totale	4			0	0

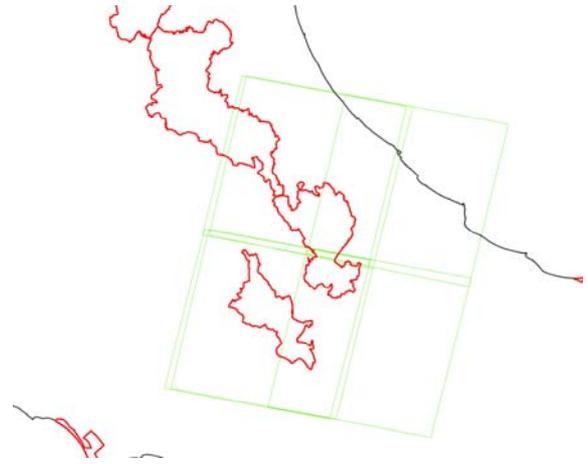
MAJELLA 2004					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
9 maggio 2004	2	50/40	analisi visuale	0	0
4 agosto 2004	1	60	analisi visuale	0	0
totale	3			0	0

MAJELLA 2005					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
7 agosto 2005	1	60	analisi visuale	0	0
14 agosto 2005	2	10/5	analisi visuale	0	0
16 agosto 2005	2	60/40	analisi visuale	0	0
8 settembre 2005	1	95	analisi visuale	0	0
totale	6			0	0

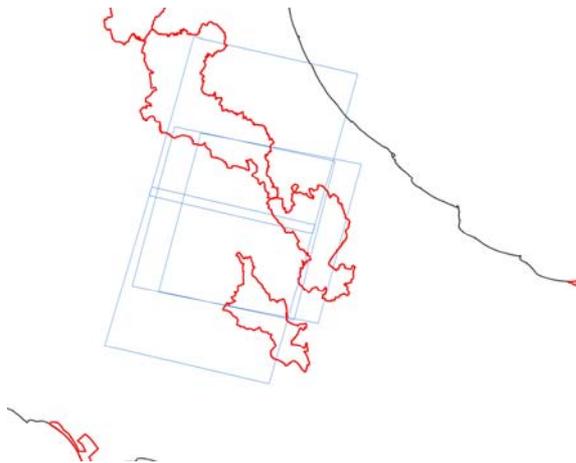
Scene ASTER acquisite sul territorio del Parco della Majella.



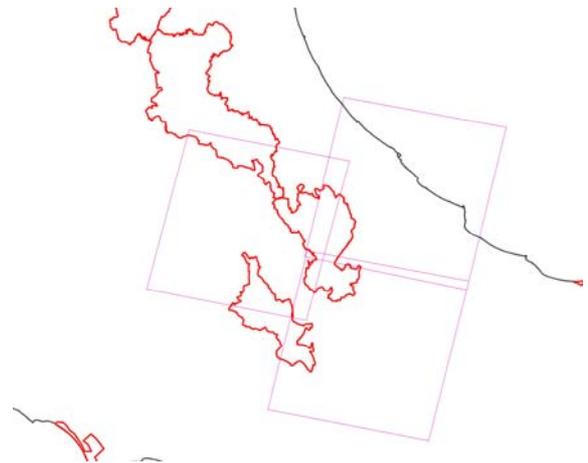
2001



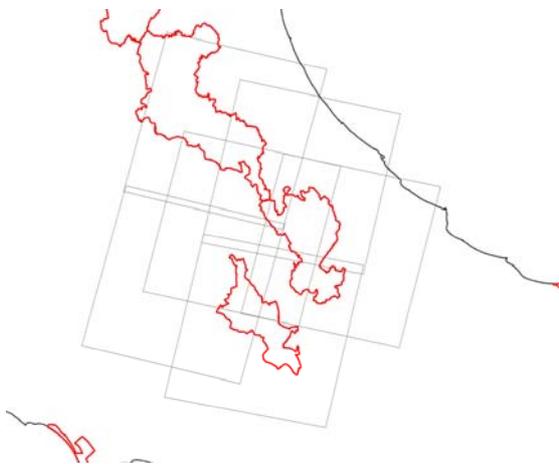
2002



2003



2004



2005

Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise

ABRUZZO 2001					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
9 giugno 2001	2	50/50	analisi visuale	0	0
totale	2			0	0

ABRUZZO 2002					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
9 settembre 2002	1	100	analisi visuale	0	0
totale	1			0	0

ABRUZZO 2003					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
11 marzo 2003	2	40/60	analisi visuale	0	0
15 giugno 2003	2	40/50	analisi visuale	0	0
9 agosto 2003	1	70	analisi visuale	0	0
totale	5			0	0

ABRUZZO 2004					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
9 maggio 2004	1	30	analisi visuale	0	0
4 agosto 2004	2	40/50	analisi visuale	1	1,3
11 agosto 2004	1	40	analisi visuale	0	0
totale	4			1	1,3

ABRUZZO 2005					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
7 agosto 2005	1	50	analisi visuale	0	0
14 agosto 2005	1	50	analisi visuale	0	0
16 agosto 2005	1	100	analisi visuale	0	0
8 settembre 2005	2	30/60	analisi visuale	0	0
totale	5			0	0,0

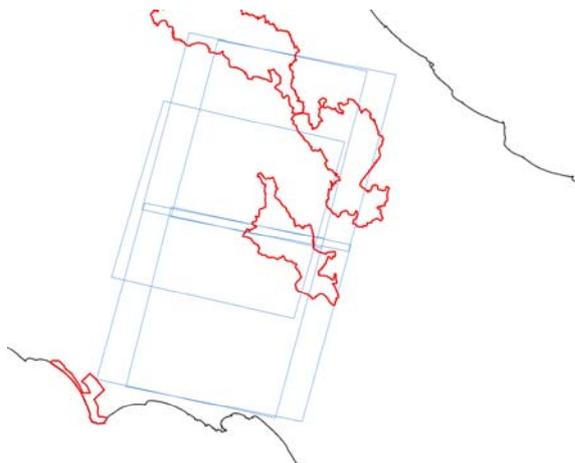
Scene ASTER acquisite sul territorio del Parco d'Abruzzo, Lazio e Molise.



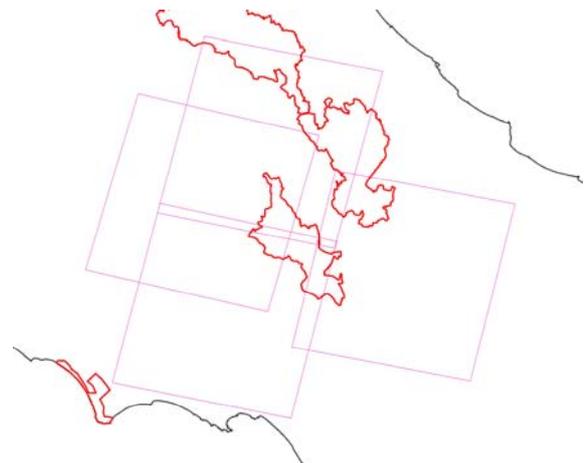
2001



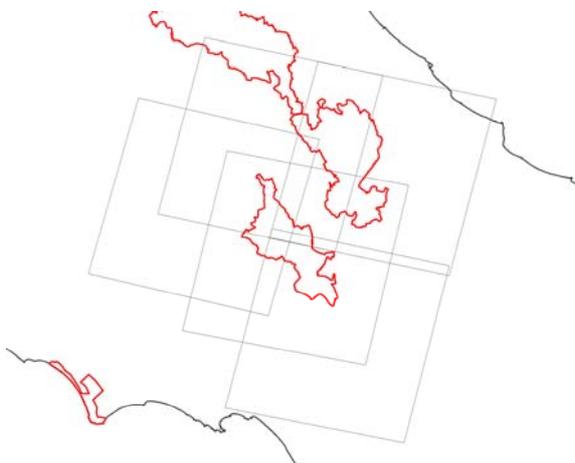
2002



2003



2004



2005

Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga

GRAN SASSO 2001					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
11 luglio 2001	2	70/20	analisi visuale	0	0
15 ottobre 2001	2	70/20	analisi visuale e indici NBR-BAI	10	47,5
totale	4			10	47,5

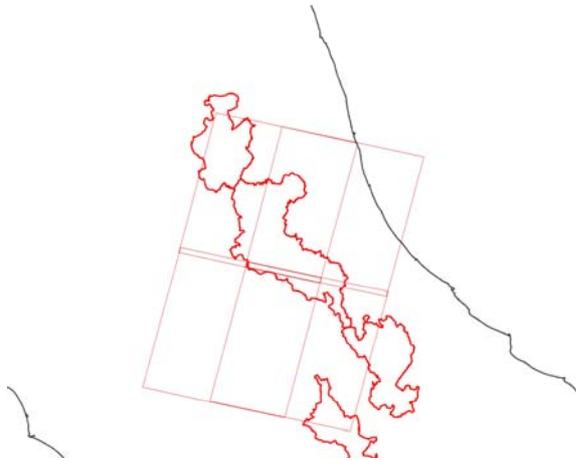
GRAN SASSO 2002					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
20 febbraio 2002	2	10	analisi visuale	0	0
8 agosto 2002	1	30	analisi visuale	0	0
31 agosto 2002	2	80/10	analisi visuale	0	0
16 settembre 2002	2	80/10	analisi visuale	5	13,1
23 settembre 2002	1	95	analisi visuale	1	41,4
totale	8			6	54,5

GRAN SASSO 2003					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
11 marzo 2003	2	30/20	analisi visuale	0	0
15 giugno 2003	2	50/20	analisi visuale	0	0
9 agosto 2003	1	60	analisi visuale	0	0
19 settembre 2003	2	80/30	analisi visuale	3	26,6
totale	7			3	26,6

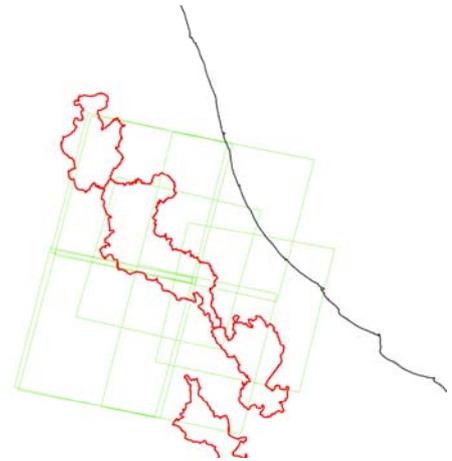
GRAN SASSO 2004					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
4 agosto 2004	2	40/30	analisi visuale	0	0
11 agosto 2004	1	90	analisi visuale	0	0
totale	3			0	0,0

GRAN SASSO 2005					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
8 aprile 2005	2	10/50	analisi visuale	3	18,2
4 giugno 2005	1	50	analisi visuale	0	0
7 agosto 2005	1	20	analisi visuale	0	0
14 agosto 2005	1	50	analisi visuale	0	0
16 agosto 2005	1	30	analisi visuale	0	0
totale	6			3	18,2

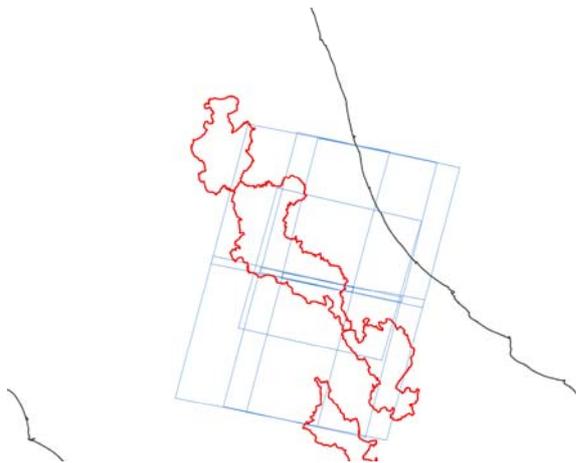
Scene ASTER acquisite sul territorio del Parco del Gran Sasso e Monti della Laga.



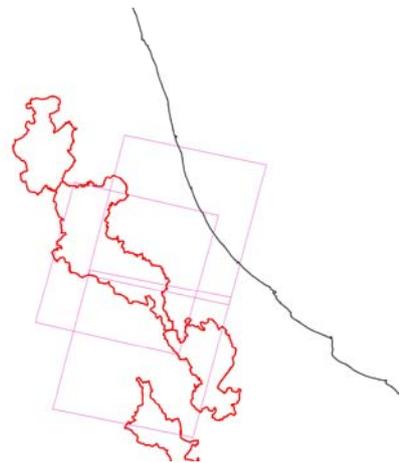
2001



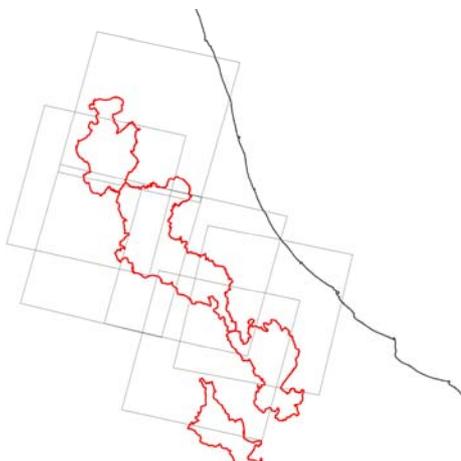
2002



2003



2004



2005

Parco Nazionale dei Monti Sibillini

MONTI SIBILLINI 2001					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
11 luglio 2001	2	20/70	analisi visuale	0	0
totale	2			0	0

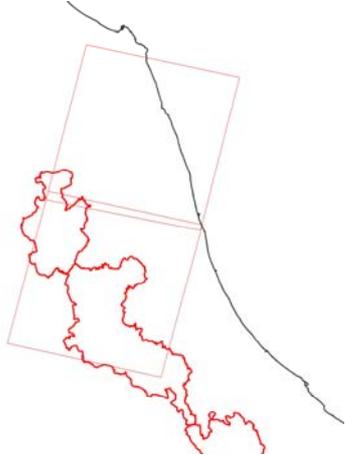
MONTI SIBILLINI 2002					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
2 maggio 2002	2	90/20	analisi visuale	0	0
31 agosto 2002	2	20/70	analisi visuale	1	3,0
16 settembre 2002	2	20/70	analisi visuale	0	0
25 ottobre 2002	1	20	analisi visuale	0	0
totale	7			1	3

MONTI SIBILLINI 2003					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
5 maggio 2003	2	90/20	analisi visuale	1	17,3
19 settembre 2003	1	20	analisi visuale	0	0
26 settembre 2003	2	90/20	analisi visuale	0	0
totale	5			1	17,3

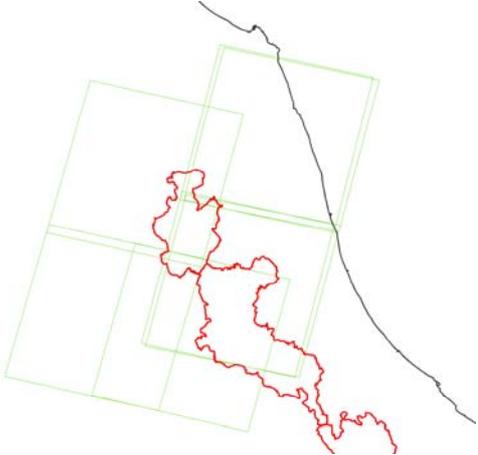
MONTI SIBILLINI 2004					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
23 ottobre 2004	2	20/80	analisi visuale	0	0
totale	2			0	0

MONTI SIBILLINI 2005					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
8 aprile 2005	2	90/10	analisi visuale	0	0
totale	2			0	0

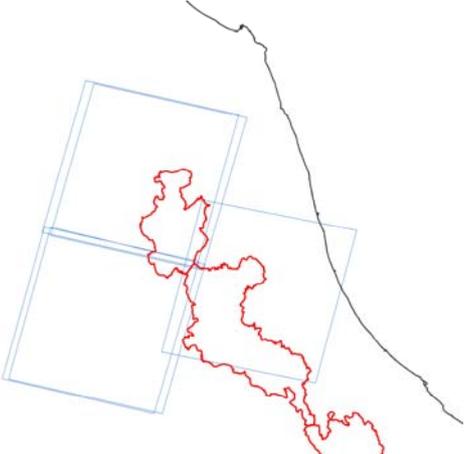
Scene ASTER acquisite sul territorio del Parco dei Monti Sibillini.



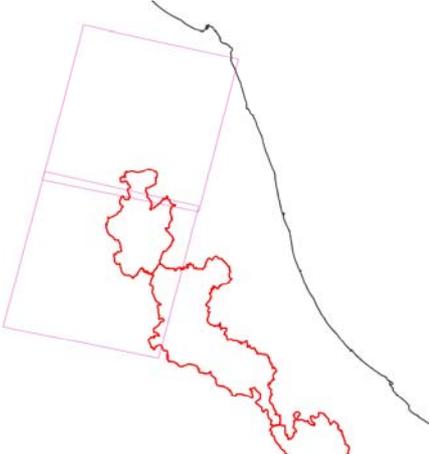
2001



2002



2003



2004



2005

Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi

FORESTE CASENTINESI 2001					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
20 settembre 2001	1	40	analisi visuale	0	0
totale	1			0	0

FORESTE CASENTINESI 2002					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
19 giugno 2002	1	100	analisi visuale	0	0
totale	1			0	0

FORESTE CASENTINESI 2003					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
6 giugno 2003	1	20	analisi visuale	0	0
22 giugno 2003	1	20	analisi visuale	0	0
15 luglio 2003	2	30/10	analisi visuale	0	0
16 agosto 2003	2	40/20	analisi visuale	0	0
17 settembre 2003	2	40/30	analisi visuale	0	0
totale	8			0	0

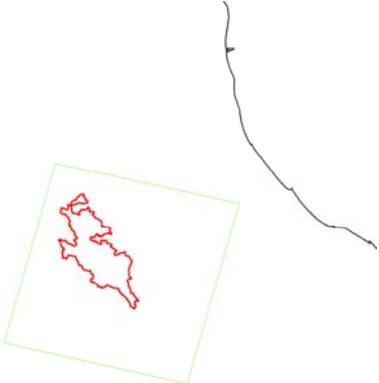
FORESTE CASENTINESI 2004					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
28 settembre 2004	1	100	analisi visuale	0	0
totale	1			0	0

FORESTE CASENTINESI 2005					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
29 luglio 2005	1	100	analisi visuale	0	0
totale	1			0	0

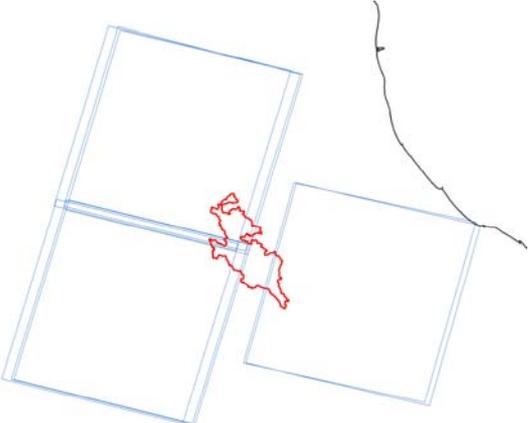
Scene ASTER acquisite sul territorio del Parco delle Foreste Casentinesi.



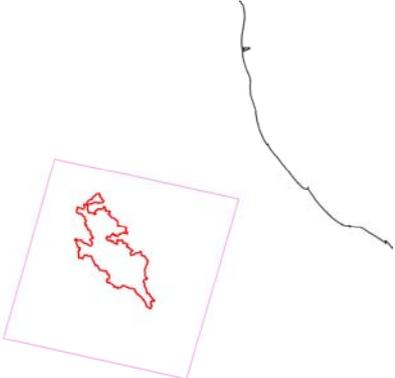
2001



2002



2003



2004



2005

Parco Nazionale dell'Appennino Tosco-Emiliano

APPENNINO TOSCO-EMILIANO 2001					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
29 maggio 2001	2	10/95	analisi visuale	0	0
21 novembre 2001	1	30	analisi visuale	0	0
totale	3			0	0

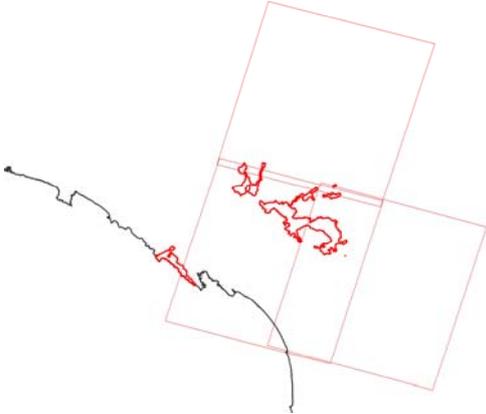
APPENNINO TOSCO-EMILIANO 2002					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
29 marzo 2002	1	50	analisi visuale	0	0
30 aprile 2002	2	10/95	analisi visuale	0	0
1 giugno 2002	2	10/90	analisi visuale	0	0
3 luglio 2002	2	20/90	analisi visuale	0	0
28 luglio 2002	1	70	analisi visuale	0	0
14 settembre 2002	1	80	analisi visuale	0	0
30 settembre 2002	1	90	analisi visuale	0	0
totale	10			0	0

APPENNINO TOSCO-EMILIANO 2003					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
27 gennaio 2003	2	10/95	analisi visuale	0	0
22 luglio 2003	2	10/80	analisi visuale	0	0
23 agosto 2003	1	80	analisi visuale	0	0
13 dicembre 2003	1	20/90	analisi visuale	0	0
totale	6			0	0

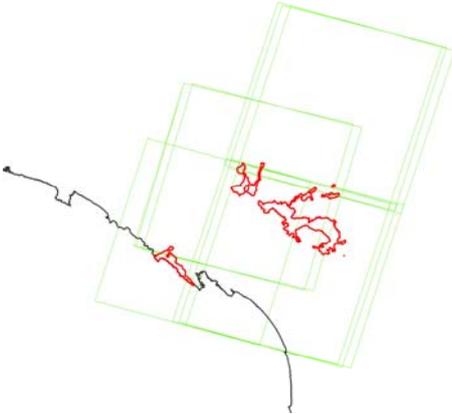
APPENNINO TOSCO-EMILIANO 2004					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
15 luglio 2004	1	30	analisi visuale	0	0
16 agosto 2004	1	30	analisi visuale	0	0
1 settembre 2004	1	30	analisi visuale	0	0
19 settembre 2004	1	40	analisi visuale	0	0
22 dicembre 2004	1	40	analisi visuale	0	0
totale	5			0	0

APPENNINO TOSCO-EMILIANO 2005					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
12 agosto 2005	1	60	analisi visuale	0	0
totale	1			0	0

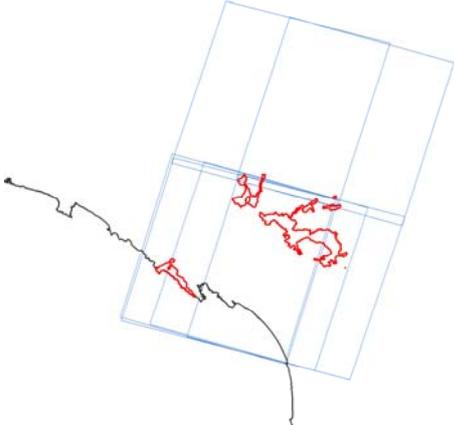
Scene ASTER acquisite sul territorio del Parco dell'Appennino Tosco-Emiliano.



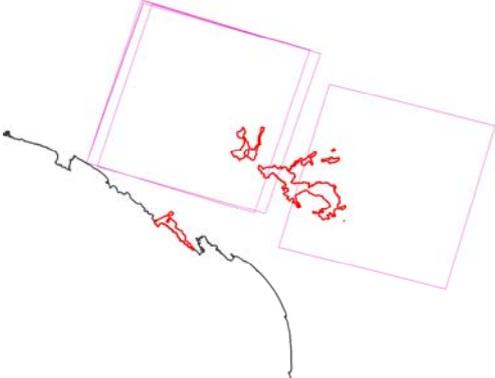
2001



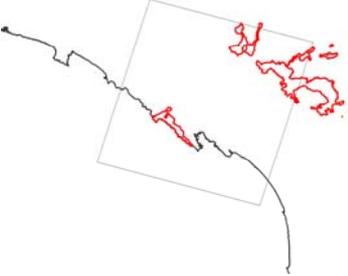
2002



2003



2004



2005

Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano

ARCIPELAGO TOSCANO 2001					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
5 novembre 2001	2	40/20	analisi visuale	0	0
21 novembre 2001	2	70/20	analisi visuale	1	232,1
totale	4			1	232,1

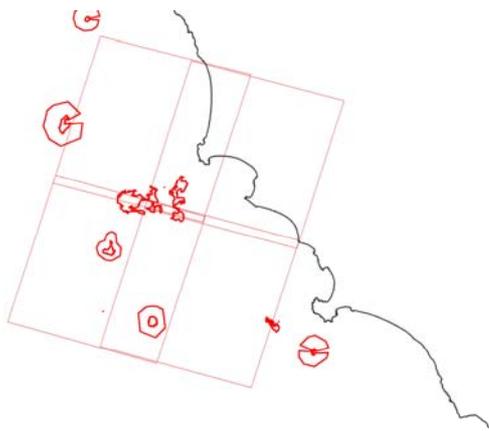
ARCIPELAGO TOSCANO 2002					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
23 ottobre 2002	2	30/20	analisi visuale	0	0
totale	2			0	0,0

ARCIPELAGO TOSCANO 2003					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
9 marzo 2003	1	100	analisi visuale	0	0
1 aprile 2003	2	40/20	analisi visuale	0	0
4 giugno 2003	2	70/20	analisi visuale	0	0
10 settembre 2003	1	10	analisi visuale	1	10,1
19 ottobre 2003	1	90	analisi visuale	0	0
totale	7			1	10,1

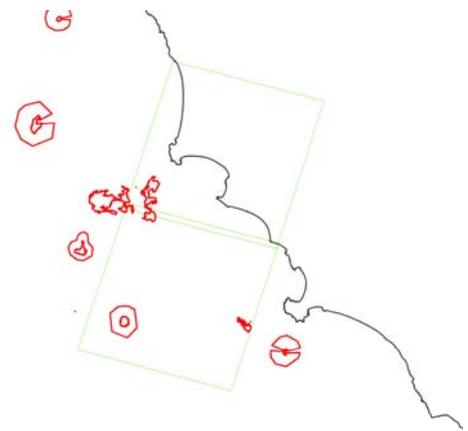
ARCIPELAGO TOSCANO 2004					
Data immagine	Scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
27 marzo 2004	1	90	analisi visuale	3	382,9
28 aprile 2004	1	90	analisi visuale	0	0
19 settembre 2004	1	90	analisi visuale	1	1,4
totale	3			4	384,3

ARCIPELAGO TOSCANO 2005					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
20 luglio 2005	1	90	analisi visuale	0	0
27 luglio 2005	2	60/30	analisi visuale	0	0
totale	3			0	0

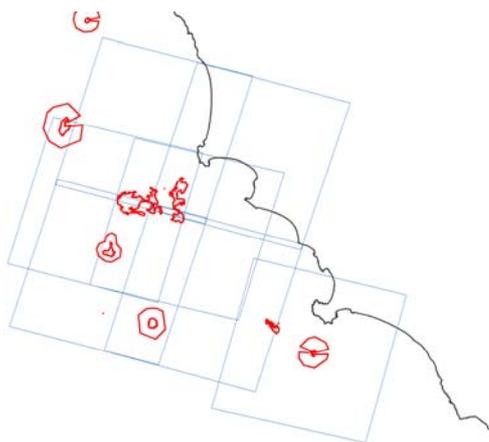
Scene ASTER acquisite sul territorio del Parco dell'Arcipelago Toscano.



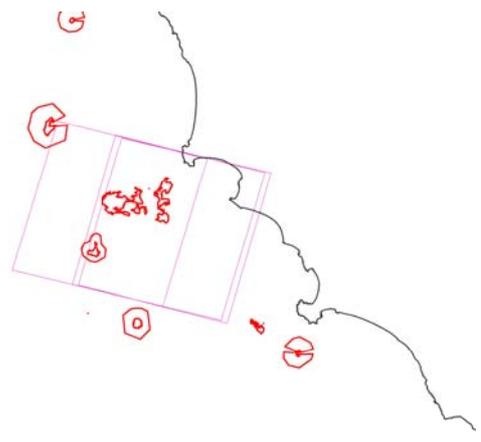
2001



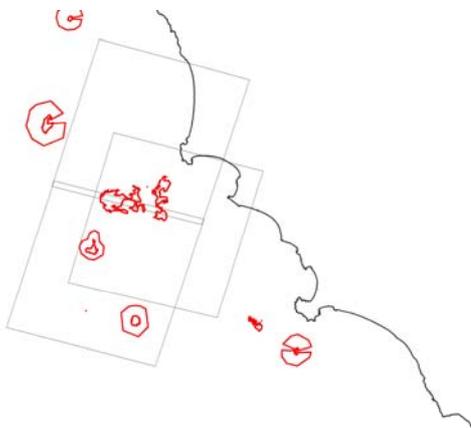
2002



2003



2004



2005

Parco Nazionale delle Cinque Terre

CINQUE TERRE 2001					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
2 aprile 2007	1	100	analisi visuale	0	0
29 maggio 2007	1	30	analisi visuale	0	0
17 agosto 2007	1	100	analisi visuale	0	0
totale	3			0	0

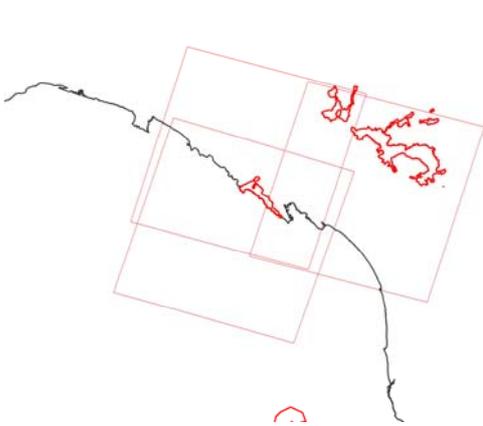
CINQUE TERRE 2002					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
29 marzo 2002	1	100	analisi visuale	0	0
30 settembre 2002	2	20/95	analisi visuale	1	22,3
1 dicembre 2002	1	100	analisi visuale	0	0
totale	4			1	22,3

CINQUE TERRE 2003					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
11 giugno 2003	1	100	analisi visuale	0	0
20 giugno 2003	1	100	analisi visuale	0	0
27 giugno 2003	1	100	analisi visuale	0	0
6 luglio 2003	1	100	analisi visuale	0	0
13 luglio 2003	1	100	analisi visuale	0	0
22 luglio 2003	1	100	analisi visuale	0	0
23 agosto 2003	1	100	analisi visuale	0	0
totale	7			0	0,0

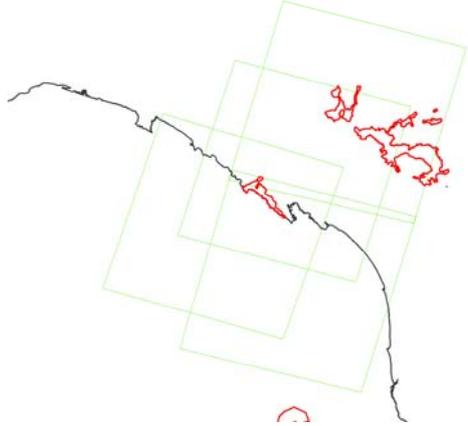
CINQUE TERRE 2004					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
15 luglio 2004	1	100	analisi visuale	0	0
16 agosto 2004	1	100	analisi visuale	0	0
1 settembre 2004	1	100	analisi visuale	0	0
22 dicembre 2004	1	100	analisi visuale	0	0
totale	4			0	0

CINQUE TERRE 2005					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
12 agosto 2005	1	100	analisi visuale	0	0
22 settembre 2005	1	95	analisi visuale	0	0
totale	2			0	0

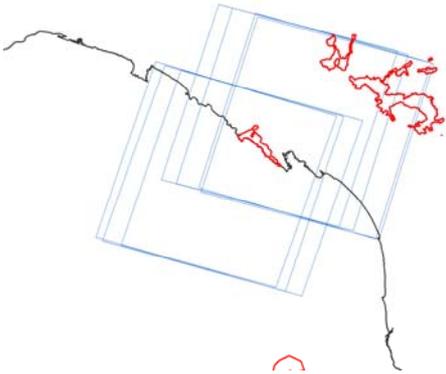
Scene ASTER acquisite sul territorio del Parco delle Cinque Terre.



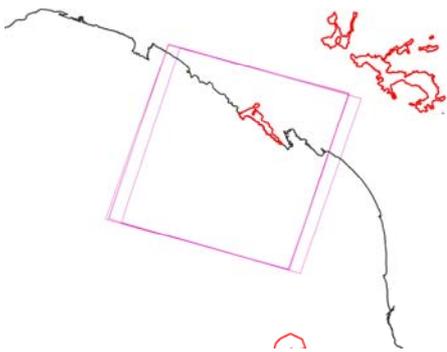
2001



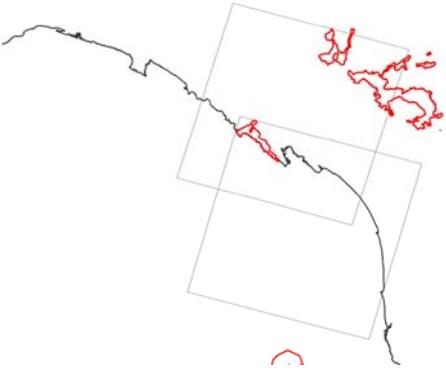
2002



2003



2004



2005

Parco Nazionale delle Dolomiti Bellunesi

DOLOMITI BELLUNESI 2001					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
5 novembre 2001	1	100	analisi visuale	0	0
totale	1			0	0

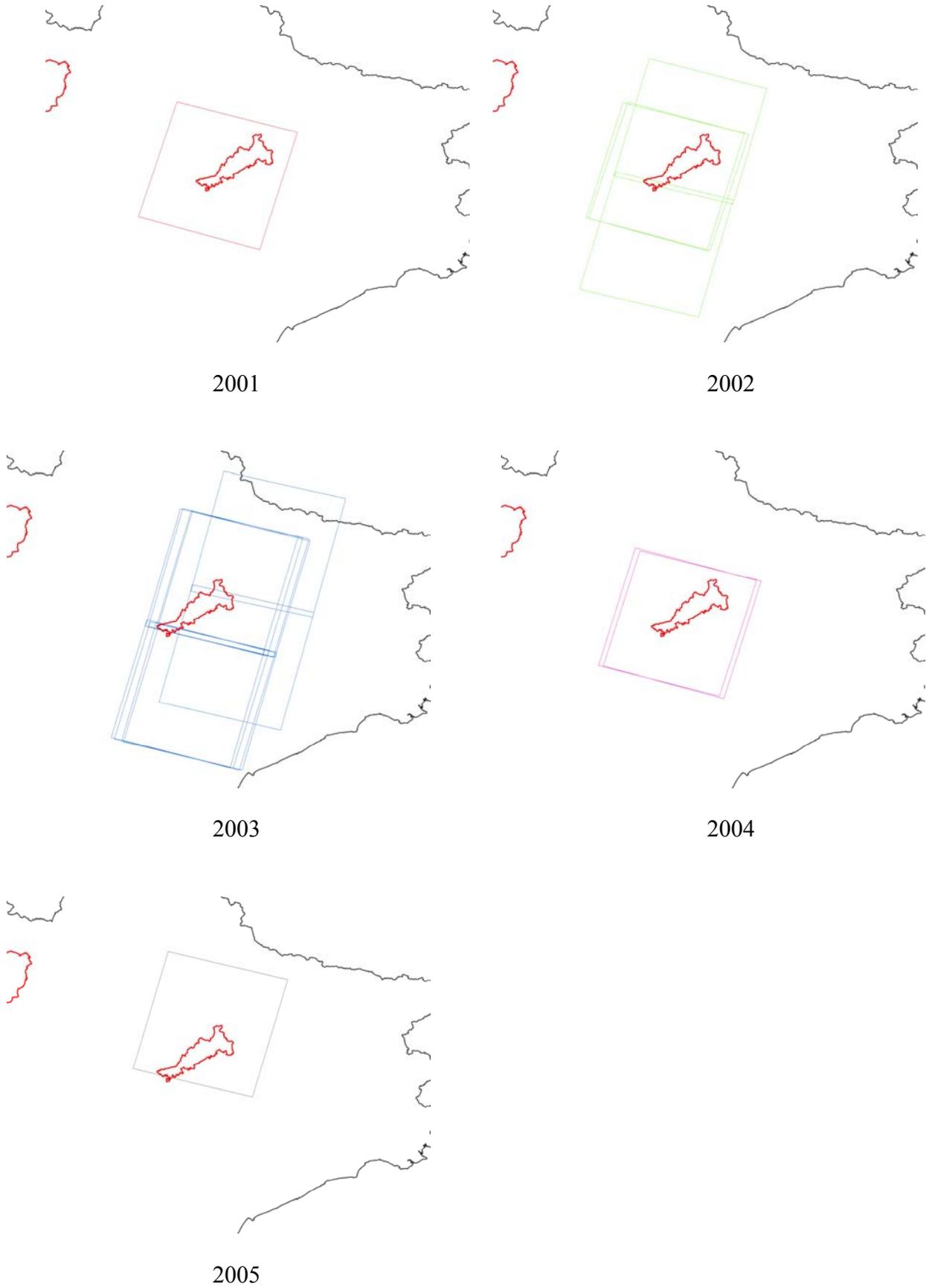
DOLOMITI BELLUNESI 2002					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
2 febbraio 2002	2	95/10	analisi visuale	1	3,8
25 febbraio 2002	1	100	analisi visuale	1	1,4
4 agosto 2002	1	100	analisi visuale	0	0
totale	4			2	5,2

DOLOMITI BELLUNESI 2003					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
15 luglio 2003	2	95/5	analisi visuale	0	0
16 agosto 2003	2	95/5	analisi visuale	0	0
10 settembre 2003	2	20/70	analisi visuale	0	0
17 settembre 2003	2	95/10	analisi visuale	1	1,4
4 novembre 2003	2	95/10	analisi visuale	0	0
totale	10			1	1,4

DOLOMITI BELLUNESI 2004					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
18 marzo 2004	1	100	analisi visuale	0	0
9 agosto 2004	1	100	analisi visuale	0	0
totale	2			0	0

DOLOMITI BELLUNESI 2005					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
24 ottobre 2005	1	95	analisi visuale	0	0
totale	1			0	0

Scene ASTER acquisite sul territorio del Parco delle Dolomiti Bellunesi.



Parco Nazionale dello Stelvio

STELVIO 2001					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
2 aprile 2001	2	90/20	analisi visuale	0	0
29 maggio 2001	2	10/40	analisi visuale	0	0
14 dicembre 2001	1	20	analisi visuale	0	0
totale	5			0	0

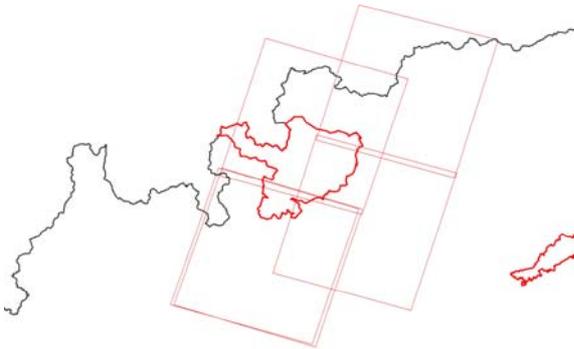
STELVIO 2002					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
4 marzo 2002	2	20/10	analisi visuale	0	0
29 marzo 2002	2	10/80	analisi visuale	0	0
14 settembre 2002	2	80/10	analisi visuale	0	0
30 settembre 2002	2	80/5	analisi visuale	0	0
1 dicembre 2002	1	20	analisi visuale	0	0
totale	9			0	0

STELVIO 2003					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
18 gennaio 2003	1	20	analisi visuale	0	0
20 giugno 2003	2	5/90	analisi visuale	0	0
23 agosto 2003	2	10/70	analisi visuale	0	0
4 dicembre 2003	1	20	analisi visuale	0	0
totale	6			0	0

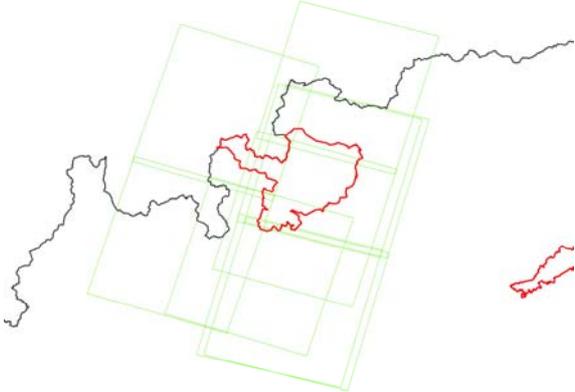
STELVIO 2004					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
1 settembre 2004	1	80	analisi visuale	1	6,4
17 settembre 2004	2	30/5	analisi visuale	0	0
totale	3			1	6,4

STELVIO 2005					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
12 agosto 2005	2	80	analisi visuale	0	0
15 ottobre 2005	2	10/80	analisi visuale	0	0
7 novembre 2005	2	80/20	analisi visuale	0	0
totale	6			0	0

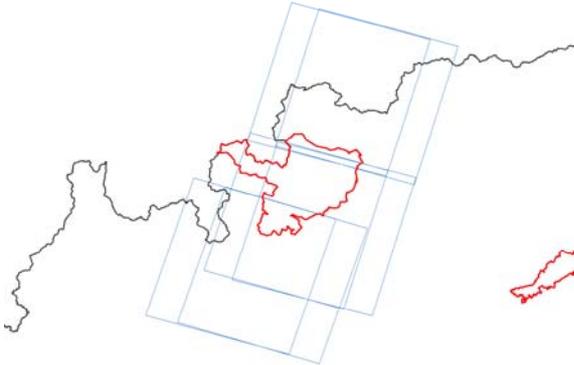
Scene ASTER acquisite sul territorio del Parco dello Stelvio



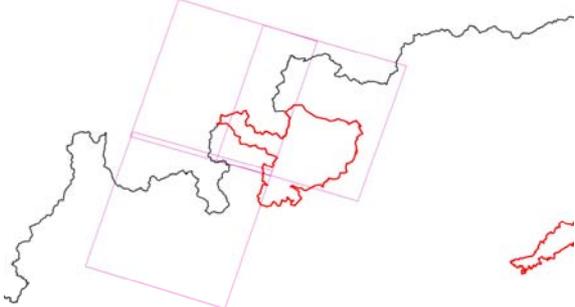
2001



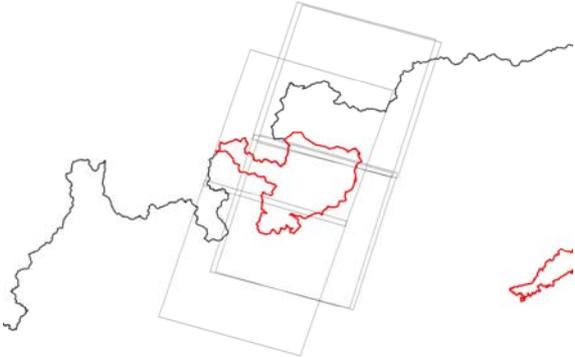
2002



2003



2004



2005

Parco Nazionale della Val Grande

VAL GRANDE 2001					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
24 agosto 2001	1	100	analisi visuale	0	0
totale	1			0	0

VAL GRANDE 2002					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
15 gennaio 2002	1	100	analisi visuale	0	0
11 marzo 2002	1	60	analisi visuale	0	0
totale	2			0	0

VAL GRANDE 2003					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
20 luglio 2003	1	30	analisi visuale	1	40,8
22 settembre 2003	1	30	analisi visuale	0	0
totale	2			1	40,8

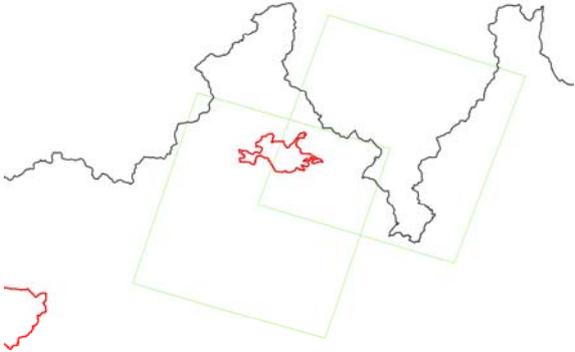
VAL GRANDE 2004					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
22 luglio 2004	1	100	analisi visuale	1	78,2
totale	1			1	78,2

VAL GRANDE 2005					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
31 maggio 2005	1	60	analisi visuale	0	0
7 giugno 2005	1	30	analisi visuale	0	0
totale	2			0	0

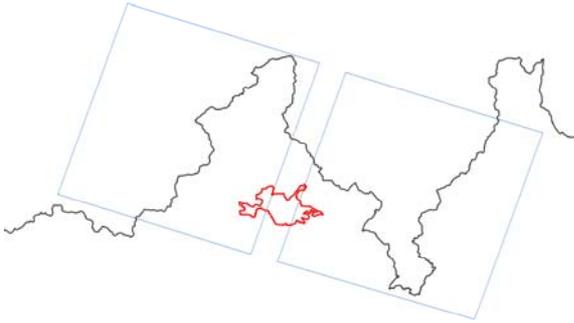
Scene ASTER acquisite sul territorio del Parco della Val Grande



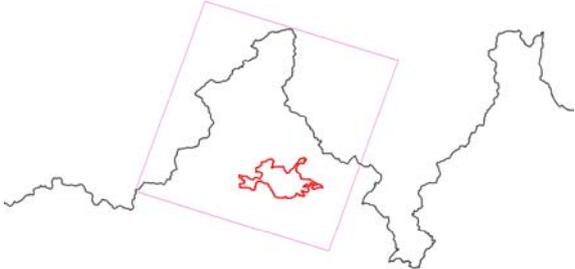
2001



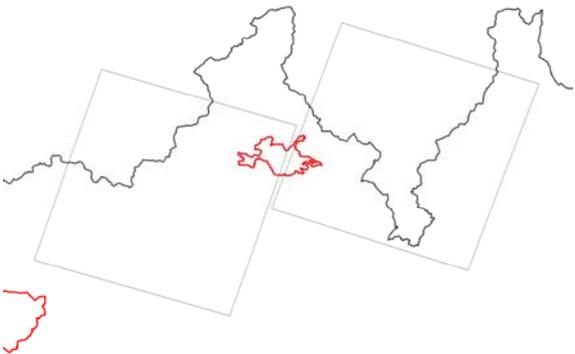
2002



2003



2004



2005

Parco Nazionale del Gran Paradiso

GRAN PARADISO 2001					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
12 giugno 2001	2	60/50	analisi visuale	0	0
23 luglio 2001	1	50	analisi visuale	0	0
12 dicembre 2001	1	80	analisi visuale	0	0
totale	4			0	0

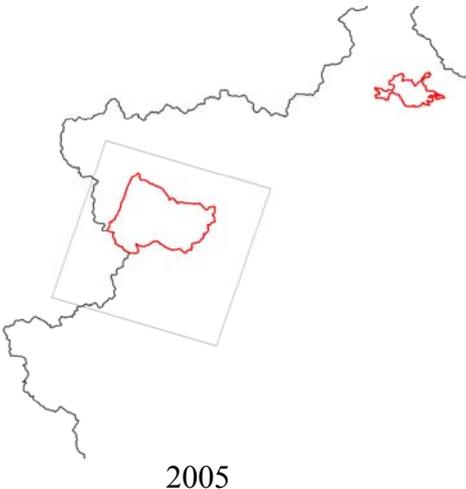
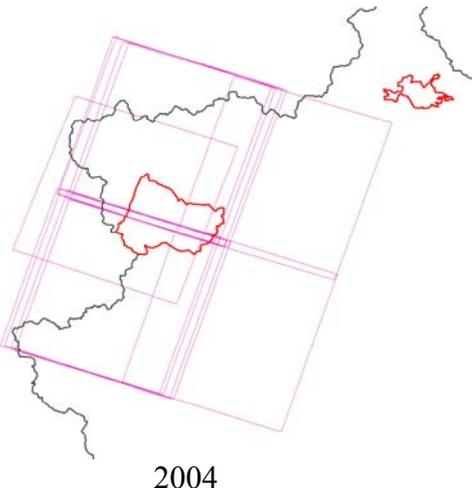
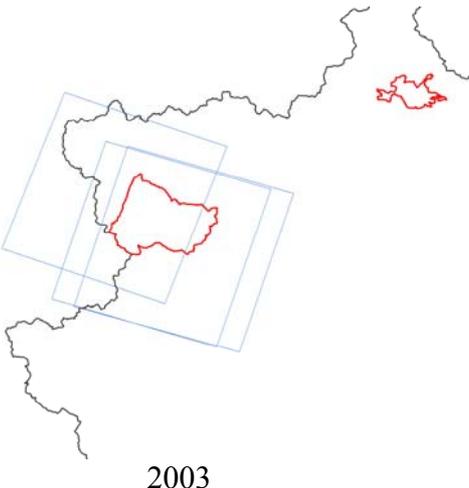
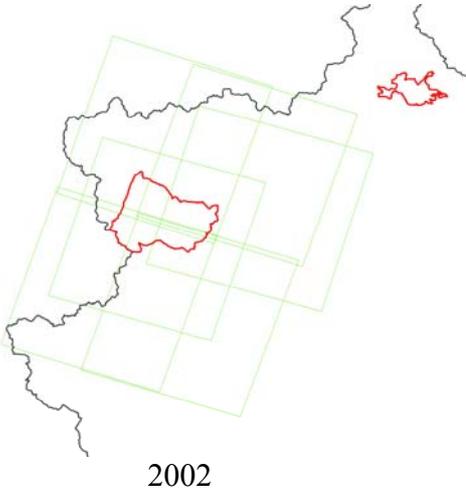
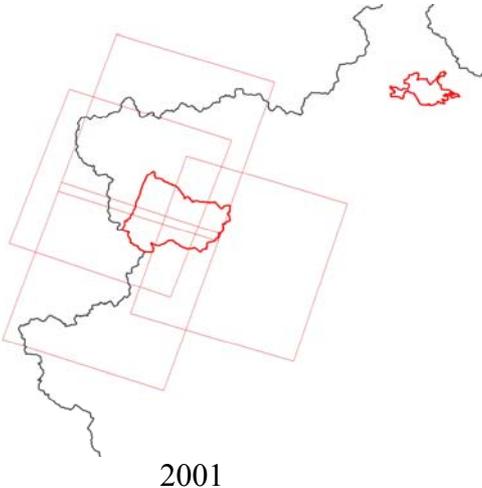
GRAN PARADISO 2002					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
6 gennaio 2002	2	60/50	analisi visuale	0	0
30 maggio 2002	2	50/10	analisi visuale	0	0
19 luglio 2002	1	50	analisi visuale	0	0
28 settembre 2002	1	100	analisi visuale	0	0
totale	6			0	0

GRAN PARADISO 2003					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
23 marzo 2003	1	100	analisi visuale	0	0
25 giugno 2003	1	90	analisi visuale	0	0
14 agosto 2003	1	100	analisi visuale	0	0
totale	3			0	0

GRAN PARADISO 2004					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
16 marzo 2004	2	60/40	analisi visuale	0	0
1 aprile 2004	2	20/20	analisi visuale	1	20,1
19 maggio 2004	2	60/40	analisi visuale	0	0
29 luglio 2004	1	90	analisi visuale	0	0
14 agosto 2004	1	90	analisi visuale	0	0
8 settembre 2004	2	70/50	analisi visuale	0	0
24 settembre 2004	2	70/50	analisi visuale	0	0
totale	12			1	20,1

GRAN PARADISO 2005					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
15 maggio 2005	1	100	analisi visuale	1	7,7
totale	1			1	7,7

Scene ASTER acquisite sul territorio del Parco del Gran Paradiso



Parco Nazionale dell'Arcipelago della Maddalena

ARCIPELAGO della MADDALENA 2001					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
21 novembre 2001	2	80/40	analisi visuale	0	0
totale	2			0	0

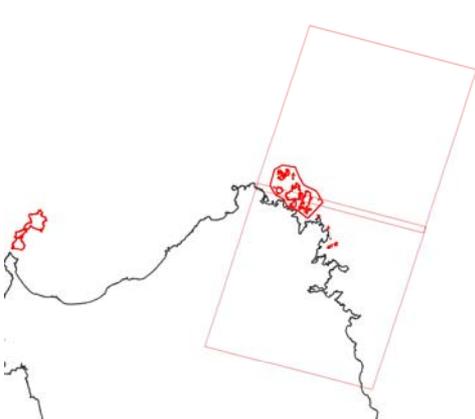
ARCIPELAGO della MADDALENA 2002					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
3 luglio 2002	2	80/40	analisi visuale	0	0
totale	2			0	0

ARCIPELAGO della MADDALENA 2003					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
27 gennaio 2003	2	50/50	analisi visuale	0	0
4 giugno 2003	2	80/40	analisi visuale	0	0
26 giugno 2003	1	100	analisi visuale	0	0
13 dicembre 2003	2	60/30	analisi visuale	0	0
totale	7			0	0

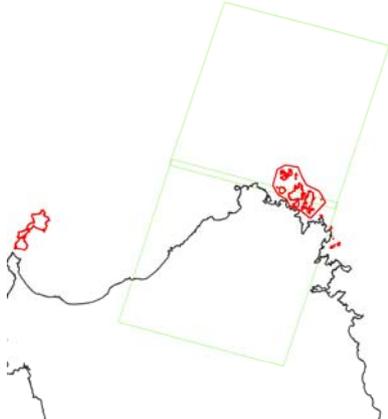
ARCIPELAGO della MADDALENA 2004					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
19 settembre 2004	1	100	analisi visuale	2	18,4
totale	1			2	18,4

ARCIPELAGO della MADDALENA 2005					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
27 luglio 2005	2	80/50	analisi visuale	1	15,1
totale	2			1	15,1

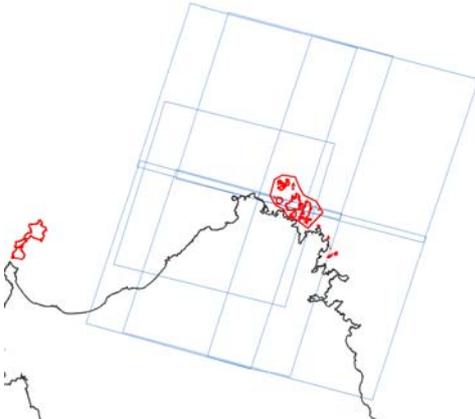
Scene ASTER acquisite sul territorio del Parco dell'Arcipelago della Maddalena.



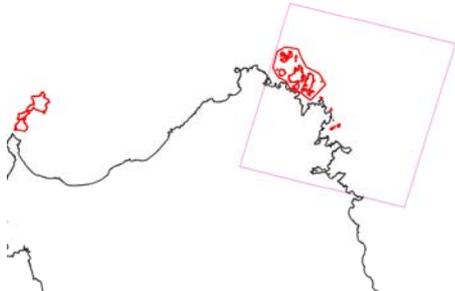
2001



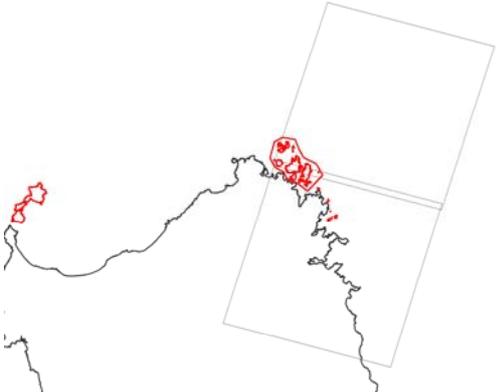
2002



2003



2004



2005

Parco Nazionale dell'Asinara

ASINARA 2001					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
2 aprile 2001	1	100	analisi visuale	0	0
17 agosto 2001	1	100	analisi visuale	0	0
totale	2			0	0

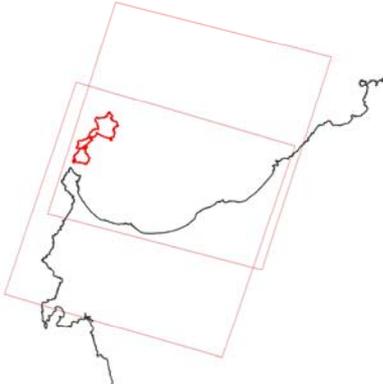
ASINARA 2002					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
4 marzo 2002	1	100	analisi visuale	0	0
totale	1			0	0

ASINARA 2003					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
13 luglio 2003	1	100	analisi visuale	0	0
totale	1			0	0

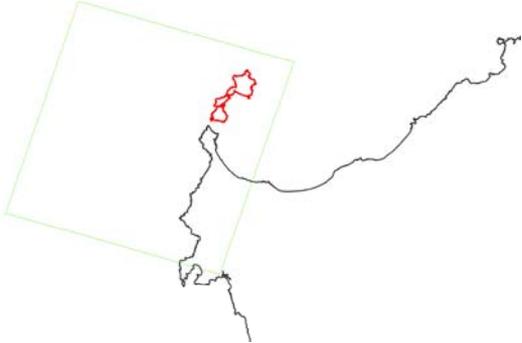
ASINARA 2004					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
16 agosto 2004	1	100	analisi visuale	0	0
totale	1			0	0

ASINARA 2005					
Data immagine	scene	% area Parco	Metodo	n. poligoni	area ha
17 febbraio 2005	1	100	analisi visuale	0	0
28 agosto 2005	1	100	analisi visuale	0	0
totale	2			0	0

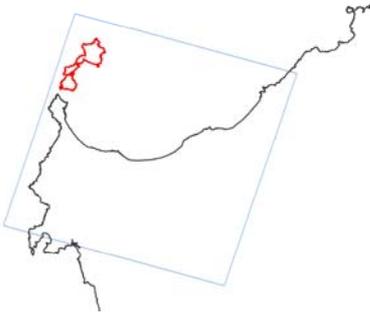
Scene ASTER acquisite sul territorio del Parco dell'Asinara.



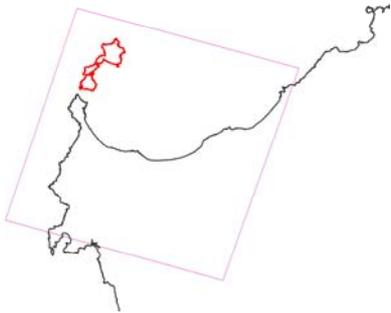
2001



2002



2003



2004



2005



ALLEGATO 2

**AREE PERCORSE DAL FUOCO RILEVATE DA SATELLITE
E DATI DI RIFERIMENTO DISPONIBILI**

(*) eventi > 1 ha in un buffer di 200 m dal confine del parco

(**) eventi > 1 ha

Dato non disponibile

GARGANO	EUAP0005	sup (ha)	118.144							
	Dati dai PN		Dati BD CFS (*)		Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Note
ANNO	n. Incendi	sup (ha)	n. Incendi	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	
2001	46	293,4					4	32	155,3	
2002	11	10,7					4	6	43,1	
2003	73	416,1	46	388			7	30	216,2	
2004	35	183,4	12	127	14	120	10	37	135,4	
2005	26	164,8	9	65	11	143,7	4	12	163,7	1 img ASTER e 3 SPOT
	191	1068,4					29	117	713,7	

POLLINO	EUAP0008	sup (ha)	171.132							
	Dati dai PN		Dati BD CFS (*)		Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Note
ANNO	n. Incendi	sup (ha)	n. Incendi	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	
2001	124	1546,9					5	19	239,8	
2002	52	407,7					8	18	57,3	
2003	94	342	36	235			21	54	313,7	
2004	81	557,6	50	579	55	570,6	10	47	440	
2005	62	940,3	39	966	33	975,6	7	9	99,2	1 img ASTER e 6 SPOT
	413	3794,5					51	147	1150	

CILENTO	EUAP0003	sup (ha)	178.172							
	Dati dai PN		Dati BD CFS (*)		Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Note
ANNO	n. Incendi	sup (ha)	n. Incendi	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	
2001	457	1235,1					5	31	146	
2002	140	457,5					3	13	36	
2003	304	787,7	134	679			11	55	279	
2004	227	1163,9	105	1086			13	53	278,8	
2005	183	639,8	98	593	62	304,9	8	70	419,3	4 img ASTER e 4 SPOT
	1311	4284					40	222	1159,1	

SILA	EUAP0012	sup (ha)	73.695							
	Dati dai PN		Dati BD CFS (*)		Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Note
ANNO	n. Incendi	sup (ha)	n. Incendi	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	
2001	0	0					4	11	37,4	
2002	0	0					2	0	0	
2003	2	2	3	10			8	2	5,2	
2004	20	106,7	5	47			2	1	2,5	
2005	25	198,6	3	75			2	0	0	
	47	307,3					18	14	45,1	

ASPROMONTE	EUAP0011	sup (ha)	76.053							
	Dati dai PN		Dati BD CFS (*)		Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Note
ANNO	n. Incendi	sup (ha)	n. Incendi	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	
2001	111	661,4					6	31	240	
2002	45	289,6					6	2	6,5	
2003	78	249,4	26	165			10	24	244,4	
2004	52	179,6	18	82			4	2	17,8	
2005	25	198,6	16	138			6	32	276,9	6 img SPOT
	311	1578,6					32	91	785,6	

VESUVIO	EUAP0009	sup (ha)	7.259							
	Dati dai PN		Dati BD CFS (*)		Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Note
ANNO	n. Incendi	sup (ha)	n. Incendi	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	
2001	120	78,3					2	1	3,3	
2002	50	13,5					4	0	0	
2003	147	81,1	8	14			2	5	17	
2004	46	87,8	11	38			5	7	57,9	
2005	49	26,2	4	10			4	0	0	
	412	286,9					17	13	78,2	

CIRCEO	EUAP0004	sup (ha)	5.616							
	Dati dai PN		Dati BD CFS (*)		Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Note
ANNO	n. Incendi	sup (ha)	n. Incendi	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	
2001	36	38					3	1	28,2	
2002	0	0					2	0	0	
2003	25	6,9	0	0			3	0	0	
2004	14	1,6	0	0			1	0	0	
2005	17	25,3	1	14			3	1	17,9	
	92	71.8					12	2	46,1	

MAIELLA	EUAP0013	sup (ha)	62.838							
	Dati dai PN		Dati BD CFS (*)		Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Note
ANNO	n. Incendi	sup (ha)	n. Incendi	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	
2001	15	86,6					2	3	49,1	
2002	0	0					6	0	0	
2003	6	31,7	3	28			4	0	0	*eventi posteriori alle immagini
2004	0	0	0	0			3	0	0	
2005	0	0	0	0			6	0	0	
	15	118.3					21	3	49,1	

ABRUZZO	EUAP0001	sup (ha)	49.680							
	Dati dai PN		Dati BD CFS (*)		Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Note
ANNO	n. Incendi	sup (ha)	n. Incendi	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	
2001	0	0					2	0	0	
2002	0	0					1	0	0	
2003	0	0	0	0			5	0	0	
2004	2	89	2	89			4	1	1,3	*eventi posteriori alle immagini
2005	0	0	0	0			5	0	0	
	2	89					17	1	1,3	

GRAN SASSO		EUAP0007	sup (ha)	141.341						
Dati dai PN		Dati BD CFS (*)		Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Note	
ANNO	n. Incendi	sup (ha)	n. Incendi	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	
2001	9	151,7					4	10	47,5	
2002	13	69,5					8	6	54,5	
2003	15	51,5	7	56			7	3	26,7	
2004	3	6,2	1	3			3	0	0	
2005	1	2	0	0			6	3	18,2	
	41	280,9					28	22	146,9	

Monti SIBILLINI		EUAP0002	sup (ha)	69.722						
Dati dai PN		Dati BD CFS (*)		Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Note	
ANNO	n. Incendi	sup (ha)	n. Incendi	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	
2001	8	3,6					2	0	0	
2002	7	27,9					7	1	3	
2003	6	2,4					5	1	17,3	
2004	2	9,3					2	0	0	
2005	3	0,4					2	0	0	
	26	43,6					18	2	20,3	

Foreste CASENTINESI		EUAP0016	sup (ha)	31.038						
Dati dai PN		Dati BD CFS (*)		Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Note	
ANNO	n. Incendi	sup (ha)	n. Incendi	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	
2001	3	3,8					1	0	0	
2002	1	0,4					1	0	0	
2003	1	0,1					8	0	0	
2004	0	0					1	0	0	
2005	0	0					1	0	0	
	5	4,3					12	0	0	

APP TOSCO-EMILIANO		EUAP1158	sup (ha)	22.792						
	Dati dai PN		Dati BD CFS (*)		Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Note
ANNO	n. Incendi	sup (ha)	n. Incendi	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	
2001	2	5					3	0	0	
2002	1	1					10	0	0	
2003	0	0					6	0	0	
2004	1	0,9					5	0	0	
2005	0	0					1	0	0	
	4	6.9					25	0	0	

Arcipelago TOSCANO		EUAP0010	sup (ha)	16.856						
	Dati dai PN		Dati BD CFS (*)		Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Note
ANNO	n. Incendi	sup (ha)	n. Incendi	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	
2001	33	353,3					4	1	232,1	
2002	6	3					2	0	0	
2003	12	668,7	4	665			7	1	10,1	
2004	3	3,1	1	3			3	4	384,3	alcune aree sono del 2003
2005	2	0,02	0	0			3	0	0	
	56	1028.1					19	6	626,5	

Cinque TERRE		EUAP1067	sup (ha)	3.860						
	Dati dai PN		Dati BD CFS (*)		Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Note
ANNO	n. Incendi	sup (ha)	n. Incendi	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	
2001	4	36,3					3	0	0	
2002	0	0					4	1	22,3	potrebbe essere del 2001
2003	2	0,7	0	0			7	0	0	
2004	10	11,1	1	10			4	0	0	
2005	2	0,02	0	0			2	0	0	
	18	42.1					20	1	22,3	

DOLOMITI BELLUNESI		EUAP0015	sup (ha)	15.132						
Dati dai PN		Dati BD CFS (*)		Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Note	
ANNO	n. Incendi	sup (ha)	n. Incendi	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	
2001	2	60					1	0	0	
2002	2	667					4	2	5,2	
2003	6	14,4	3	13,6			10	1	1,4	
2004	0	0	0	0			2	0	0	
2005	1	0,2	0	0			1	0	0	
	11	741.6					18	3	6,6	

STELVIO		EUAP0017	sup (ha)	133.325						
Dati dai PN		Dati BD CFS (*)		Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Note	
ANNO	n. Incendi	sup (ha)	n. Incendi	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	
2001	3	4,3					5	0	0	
2002	5	3,3					9	0	0	
2003	3	2,3	1	2			6	0	0	
2004	5	9,7	2	10			3	1	6,4	
2005	2	0,4	0	0			6	0	0	
	18	20					29	1	6,4	

VAL GRANDE		EUAP0014	sup (ha)	11.340						
Dati dai PN		Dati BD CFS (*)		Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Note	
ANNO	n. Incendi	sup (ha)	n. Incendi	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	
2001	0	0					1	0	0	
2002	1	50					2	0	0	
2003	2	49,6	2	51			2	1	40,8	porzione maggiore fuori parco
2004	1	0,1	0	0			1	1	78,2	porzione maggiore fuori parco
2005	1	0,5	0	0			2	0	0	
	5	100.2					8	2	119	

GRAN PARADISO		EUAP0006	sup (ha)	70.318						
Dati dai PN		Dati BD CFS (*)		Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Note	
ANNO	n. Incendi	sup (ha)	n. Incendi	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	
2001	1	0,2					4	0	0	
2002	2	3,5					6	0	0	
2003	0	0	0	0			3	0	0	
2004	1	10	1	10			12	1	20,1	
2005	0	0	0	0			1	1	7,7	
	4	13,7					26	2	27,8	

LA MADDALENA		EUAP0018	sup (ha)	5.100						
Dati dai PN		Dati BD CFS (*)		Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Note	
ANNO	n. Incendi	sup (ha)	n. Incendi	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	
2001	0	0					2	0	0	
2002	0	0					2	0	0	
2003	3	22,1	1	20			7	0	0	
2004	0	0	0	0			1	2	18,4	eventi del 2003
2005	2	15	1	10			2	1	15,1	
	5	37,1					14	3	33,5	

ASINARA		EUAP0945	sup (ha)	5.170						
Dati dai PN		Dati BD CFS (*)		Vettori GPS/CFS (**)		ASTER			Note	
ANNO	n. Incendi	sup (ha)	n. Incendi	sup (ha)	n. Poligoni	sup (ha)	n. Immagini	n. Poligoni	sup (ha)	
2001	0	0					2	0	0	
2002	0	0					1	0	0	
2003	0	0					1	0	0	
2004	0	0					1	0	0	
2005	0	0					2	0	0	
	0	0					7	0	0	



ALLEGATO 3

CONFRONTO FRA AREE PERCORSE DAL FUOCO OTTENUTE CON RILIEVI RAPF (GPS) E CON DELIMITAZIONI DA SATELLITE NEL PARCO NAZIONALE DEL POLLINO

**CONTRIBUTO CONGIUNTO DI
CFS/MIPAAF – DPN/MATTM – IREA/CNR**

**CONFRONTO FRA AREE PERCORSE DAL FUOCO
OTTENUTE CON RILIEVI RAPF (GPS) E CON DELIMITAZIONI DA SATELLITE
NEL PARCO NAZIONALE DEL POLLINO**

**CONTRIBUTO CONGIUNTO DI
CFS/MIPAAF – DPN/MATTM – IREA/CNR**

PREMESSA

Di seguito si riportano i risultati dei confronti effettuati tra i rilievi delle aree percorse dal fuoco nel Parco nazionale del Pollino nel 2004 eseguiti a terra dal personale del Corpo Forestale dello Stato del MIPAAF (di seguito CFS) e quelli individuati con l'interpretazione delle immagini satellitari effettuate dalla Direzione Protezione Natura del MATTM (di seguito DPN) attraverso un'apposita convenzione con l'Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente del CNR (di seguito IREA).

Il confronto da parte del CFS è avvenuto, senza ulteriori sopralluoghi attuali, ma con l'ausilio degli operatori che hanno svolto i sopralluoghi nel 2004 e che mantengono memoria delle modalità del rilievo a terra, osservando attentamente le immagini sotto riportate e consultando le informazioni contenute nelle schede AIB-FN rilevate come da prassi per i singoli incendi.

In alcuni casi i rilievi effettuati nell'anno 2004 (anno ancora di sperimentazione dei rilievi cartografici degli incendi boschivi) sono stati eseguiti dal CFS senza l'uso del GPS (perché ancora non disponibile o non utilizzabile per vari motivi), con il solo tracciamento del perimetro su cartografia IGM in scala 1:25.000 e successiva verifica in ufficio sulle ortofoto del Sistema Informativo della Montagna. Il perimetro dell'area incendiata, di conseguenza, in questi casi può risultare non molto accurato.

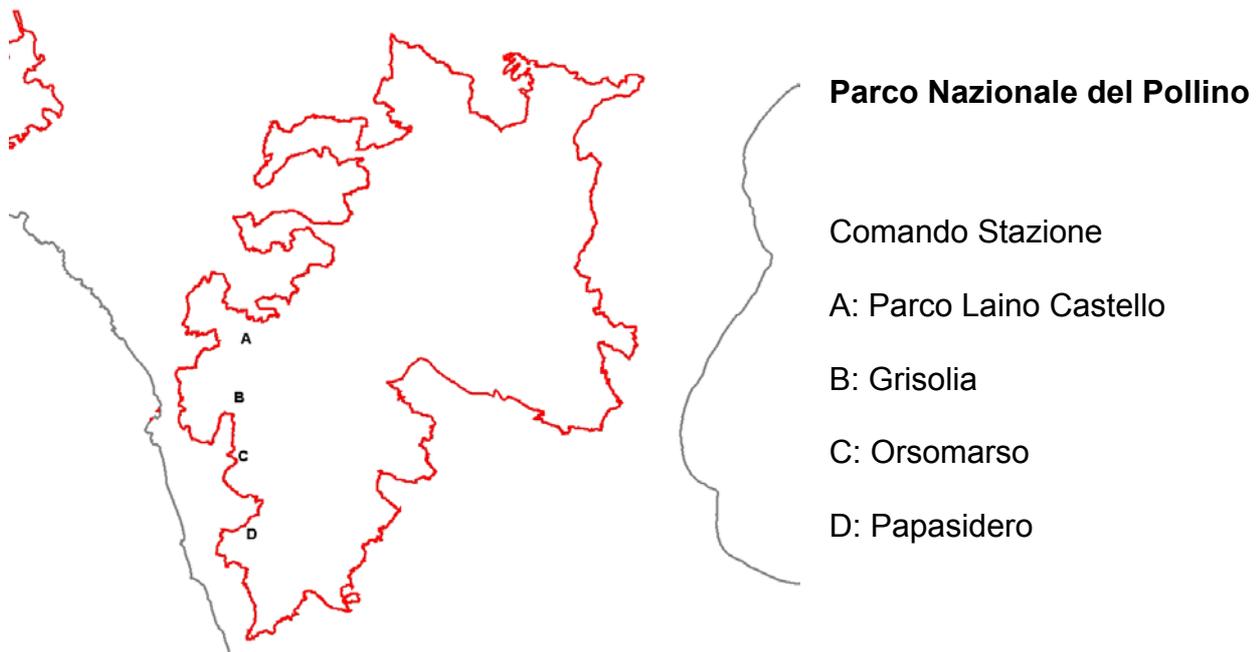
Per comprendere meglio eventuali discrepanze tra i rilievi GPS e le perimetrazioni da satellite, dopo il primo confronto, sono state utilizzate altre immagini che in alcuni casi non erano ancora disponibili (vedi singole descrizioni) e anche le immagini precedenti l'incendio considerato. Queste ultime immagini sono di notevole aiuto per mettere in evidenza il cambiamento delle condizioni al suolo. Il passaggio del fuoco determina infatti un cambiamento nella risposta spettrale della superficie che risulta particolarmente evidente nel caso di presenza di boschi e foreste. L'entità del cambiamento di risposta spettrale dipende, oltre che dal tipo di vegetazione, dal tempo intercorso tra la data dell'incendio e la data di acquisizione dell'immagine, come evidenziato in alcuni dei casi riportati.

In generale una delle fonti di discrepanza tra i due dati è dovuta all'imprecisione della georeferenziazione delle immagini da satellite o dei rilievi a terra prodotti con o senza l'ausilio di un GPS. L'imprecisione delle immagini satellitari in molti casi può essere corretta se è disponibile una carta tecnica regionale.

La disponibilità di una carta dei tipi forestali e/o di una carta della vegetazione all'interno dei parchi così come di ortofoto recenti (idealmente ante e post incendio) sarebbe molto utile, sia in fase di classificazione che in fase di analisi dei risultati.

Nel complesso, dai risultati ottenuti dal confronto, la perimetrazione di incendi boschivi realizzata con l'interpretazione di immagini da satellite appare molto valida ed in ogni caso particolarmente positiva (peraltro unica per gli eventi che per vari motivi non si riescono a perimetrare in altro modo) ed ottimale per l'integrazione informativa con i perimetri ottenibili col GPS dal rilievo a terra.

Per facilità di lettura, di seguito si trova un elenco delle 19 località, tutte della fascia costiera tirrenica (vedi figura), che sono state utilizzate nel confronto suddivise per Comando Stazione secondo le rispettive competenze territoriali.



Comando Stazione Parco Laino Castello (4 località)

- 1: Aguzzara Mararosa
- 2: Rubbia
- 3: Filannino
- 4: Monte Calimaro

Comando Stazione Grisolia (8 località)

- 5: Serra la Vriglia
- 6: Acqua della vecchia
- 7: Monte Romano
- 8: Maiera
- 9: Monte Carpinoso
- 10: Formica Crescione
- 11: Crescione - Massavetri
- 12: Aberosa – Canale San Giuseppe

Comando Stazione Orsomarso (3 località)

- 13: Castel di Raione - Mira
- 14: Serra Bonangelo
- 15: Cimminito – Garramillo

Comando Stazione Papasidero (4 località)

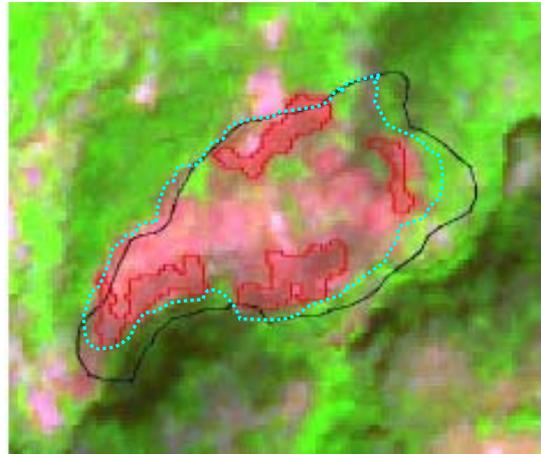
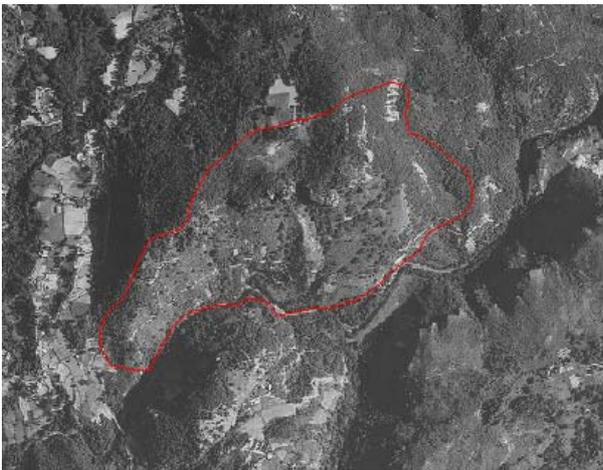
- 16: Varco
- 17: Massa - Maralongo
- 18: Pastirosa – Madonna del Soccorso
- 19: C.sta di Chiaravoia

A - Comando Stazione Parco Laino Castello

CFS. Dalle dichiarazioni del rilevatore competente sul territorio si apprende che il 2004 è stato l'anno di avvio delle attività sperimentali di rilievo con il GPS speditivo. Esistevano allora problemi di connessione al SIM presso il Comando Stazione, per cui i rilievi venivano inseriti dal CTA, e di funzionamento degli stessi GPS.

Località 1: Aguzzara Mararosa

Poligoni derivati dalle immagini satellitari: pol040003, pol040005, pol040039, pol040040.



CFS. Dal confronto visivo tra le due immagini con sovrapposto il perimetro dell'incendio rilevato a terra emerge la mancata rispondenza tra l'immagine da satellite e l'ortofoto aerea. Si vede chiaramente che il limite dell'incendio sovrapposto all'immagine satellitare cade oltre il tracciato del corso d'acqua nella parte bassa e nella porzione destra oltrepassa la strada in un tratto e si inoltra nel bosco in misura maggiore della realtà. Inoltre si evidenzia una deformazione sulla forma e sull'orientamento dell'immagine rispetto all'ortofoto. Il perimetro approssimativo reale, ridisegnato con tratteggio celeste, presenta una maggiore rispondenza con i poligoni estrapolati dall'immagine da satellite.

Dall'intervista che è stata condotta al rilevatore del Comando Stazione competente si apprende che il perimetro potrebbe aver subito delle approssimazioni per le difficoltà dovute al territorio notevolmente accidentato con problemi, in alcuni punti, di ricezione dei satelliti da parte del GPS.

La superficie totale incendiata stimata è 55 ha di cui 40 ha non boscati.

L'incendio ha interessato per intero lo strato erbaceo e arbustivo dell'area ed ha danneggiato, a volte solo parzialmente, lo strato arboreo.

Nell'area non si sono verificati in passato altri incendi.

DPN. Il commento negativo alle immagini SAT non mi risulta corretto in quanto in realtà sembra esserci un mero problema di georeferenziazione, cioè l'immagine ASTER risulta spostata leggermente a Nord-Ovest rispetto a ortofoto e perimetro GPS.

Oltre alle normali distorsioni interpretative delle 3 diverse tipologie di immagine, cioè da satellite da GPS e da ortofoto, la traslazione potrebbe essere dovuta al sistema di georeferenziazione diverso, cioè WGS84 per la prima e ED50 (?) per le altre due.

Quanto sopra sarebbe comunque in gran parte compensato con il perimetro a tratteggio celeste apportato manualmente col confronto.

Le difficoltà nel rilievo per l'accidentalità dei luoghi e di ricezione satellitare da parte del GPS - che l'operatore ricorda - ha certamente accentuato le piccole oggettive differenze fra perimetri. Il fuoco a volte solo parziale nel soprassuolo arboreo che ricorda l'operatore è evidenziato dalle immagini satellitari che, nell'approccio prudentiale del metodo adottato, non ha accorpato l'intera area incendiata.

IREA. L'immagine ASTER del 14/09/2004, utilizzata per il rilievo delle aree in questione, in origine non aveva una georeferenziazione accurata, infatti è stata acquisita lungo una direzione con un angolo di circa 8° rispetto al nadir. Avendo a disposizione un'immagine del 21/07/2004 acquisita circa al nadir (angolo $\alpha = 0^\circ$), si è effettuata una georeferenziazione *image to image*. Nelle scelte dei GCP il RMSE (Root Mean Square Error) risulta 0.83, pari ad un errore medio su tutta l'immagine di 12.4 m; in alcune porzioni della scena tale errore però è maggiore. Nella figura sottostante si nota come sull'immagine del 21/07/2004 ($\alpha = 0^\circ$) il poligono CFS sia posizionato correttamente (infatti sta al di sopra del corso d'acqua), mentre sull'immagine del 14/09/2004 sia traslato.

Questi problemi di posizionamento planimetrico sono risolvibili utilizzando dei punti di controllo (GCP) estratti ad esempio dalla Carta Tecnica Regionale in una georeferenziazione *image to map*.

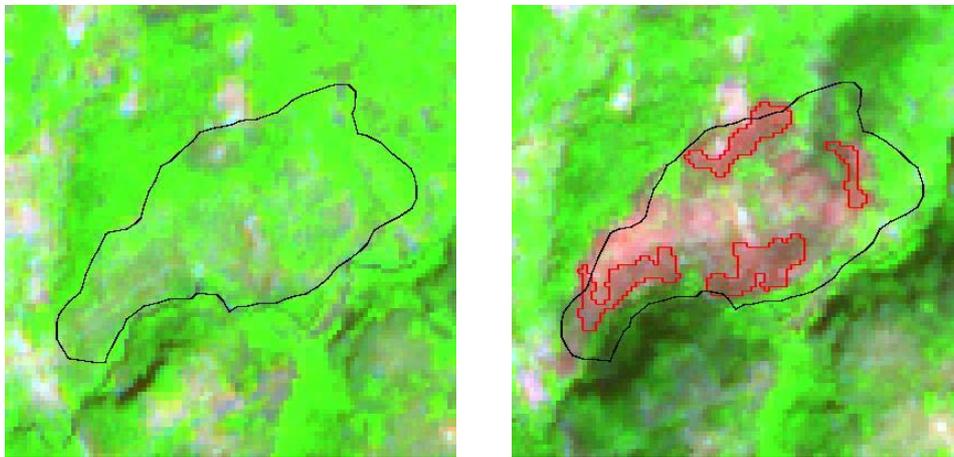


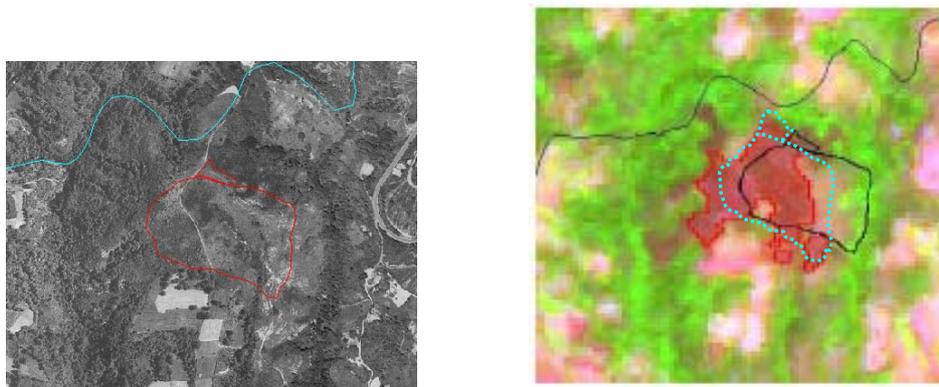
Figura 1 – Ritaglio dell'immagine del 21/07/2004 (a sinistra) e del 14/09/2004 (a destra).

La trasformazione di coordinate da datum ED 50 a datum WGS84 è stata eseguita con un tool di ArcGis. La perimetrazione da satellite è stata ottenuta con una classificazione maximum likelihood; il rilievo non completo dell'area bruciata è probabilmente dovuta ad una mancanza nel dataset di training della copertura arbustiva ed erbacea, che, in ogni caso, è caratterizzata da una riconoscibilità inferiore rispetto ad una foresta bruciata. Infatti, dal confronto tra classificazione e ortofoto emerge che le aree perimetrare coincidono quasi esclusivamente con le sole aree boschive. L'immagine da satellite è stata acquisita una ventina di giorni dopo l'incendio.

Data incendio	Data rilievo CFS	Data immagine SAT
26/08/2004	28/08/2004	14/09/2004

Località 2: Rubbia

Poligono derivato dalle immagini satellitari: pol040002.



CFS. Anche in questo caso si rileva una traslazione tra l'ortofoto aerea e l'immagine satellitare. Infatti appare chiaro come il limite destro del rilievo non debba cadere sulla porzione boscata (in verde sul satellite) ma, come si evince dall'ortofoto, l'area incendiata deve ricadere completamente su una superficie di pascolo e di cespuglietto (ginestre). Il perimetro approssimativo reale, ridisegnato con tratteggio celeste, presenta una maggiore rispondenza con il poligono estrapolato dall'immagine da satellite.

Il rilevatore non esclude che ci possa essere una piccola traslazione del rilievo a causa di un cattivo funzionamento del GPS verificatosi nel periodo in cui era stato eseguito il rilievo, ma è certo della forma del rilievo.

L'incendio ha interessato una superficie di 9 ha.

Lo stato della vegetazione erbacea era secco.

La zona non risulta aver subito altri incendi nei precedenti 10 anni.

DPN. L'osservazione dei colori dell'immagine satellitare permette una sovrapposizione con la ortofoto attraverso la fotointerpretazione, a prescindere dalla georeferenziazione automatica (nel caso da correggere spostando di alcune decine di metri il perimetro nero su SAT verso EST) e questo può facilitare il confronto; così facendo, ad es., il perimetro ridisegnato dal CFS con tratteggio celeste corrisponde molto più verosimilmente al perimetro in rosso sulla ortofoto.

IREA. Il rilievo dell'area è avvenuto sull'immagine del 14/09/2004, affetta dai problemi di georeferenziazione descritti sopra.

La forma del poligono CFS appare un po' approssimata; dalla combinazione RGB dell'immagine l'area percorsa dal fuoco appare più articolata.

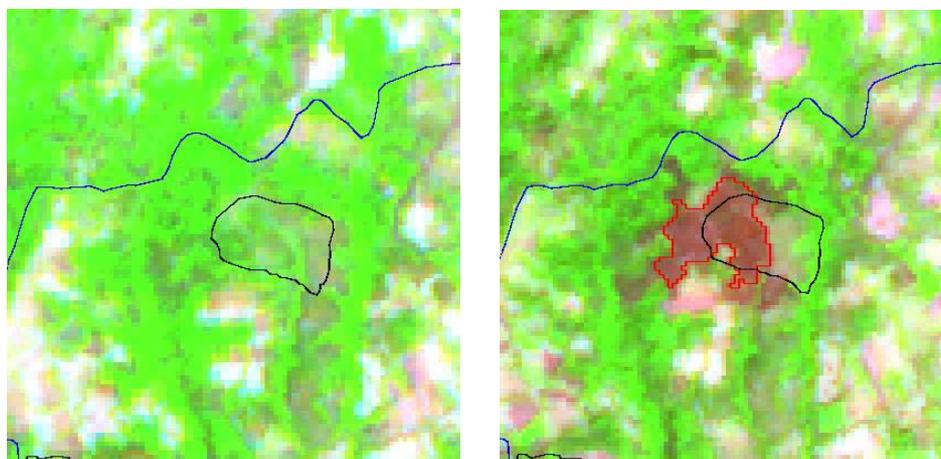


Figura 2 - Ritaglio dell'immagine del 21/07/04 (a sinistra) e del 14/09/04 (a destra).

Località 3: Filannino

Poligono derivato dalle immagini satellitari: pol040004.

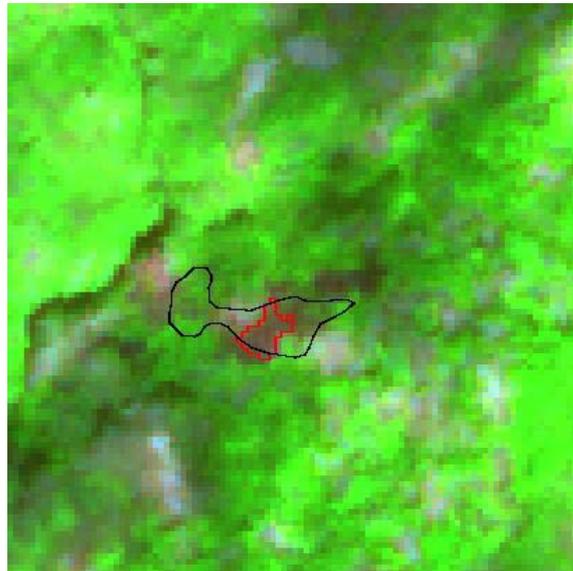
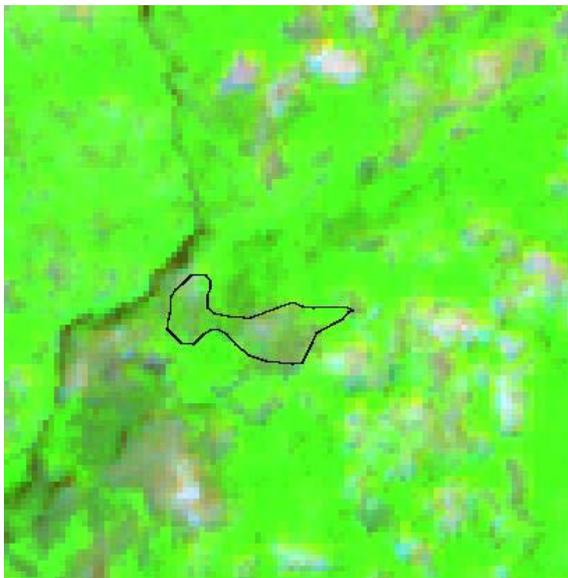


Figura 3 – Ortofoto, ritaglio dell'immagine del 21/07/04 (centro) e del 14/09/04 (a destra).

CFS. Per questo rilievo non abbiamo il riscontro sulla immagine da satellite (aggiunta dopo dall'IREA).

Il rilevatore conferma che la forma del rilievo è giusta ed è certo di ricordare i danni da fuoco sugli ulivi presenti nella porzione destra dell'area.

DPN. La copertura arborea a sinistra appena percorsa dal fuoco secondo il perimetro GPS non appare un soprassuolo di ulivi (suolo per lo più nudo con poche piante posizionate irregolarmente), come indicato dall'operatore.

IREA. La classificazione dell'immagine satellitare rileva probabilmente la porzione di area dove il fuoco è stato più intenso.

Località 4: Monte Calimaro

Poligoni derivati dalle immagini satellitari: pol040006, pol040007.

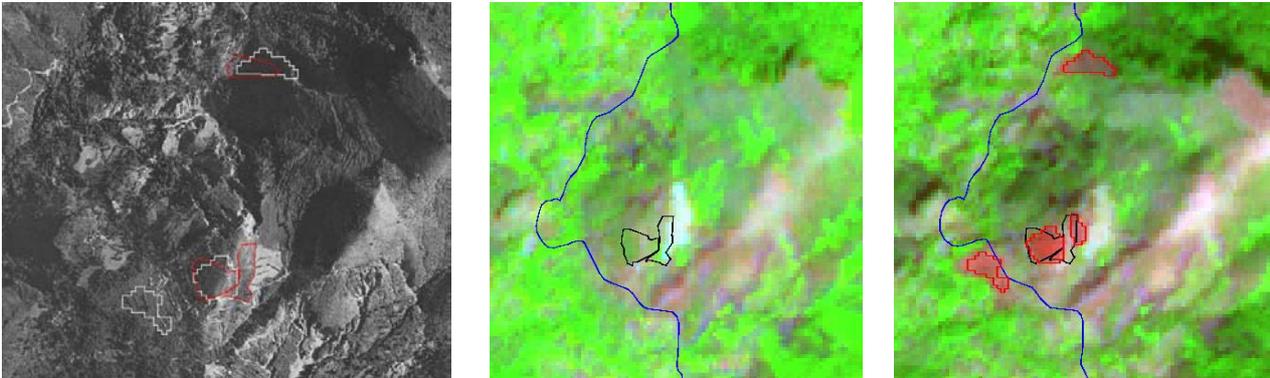


Figura 4 – Ortofoto, ritaglio dell'immagine del 21/07/04 (centro) e del 14/09/04 (a destra).

CFS. Per questi rilievi non abbiamo il riscontro sulla immagine da satellite (aggiunta dopo dall'IREA).

Il rilevatore conferma l'esattezza dei rilievi a terra che, peraltro, si sovrappongono abbastanza fedelmente ai poligoni estrapolati dall'immagine satellitare. Rimangono perplessità sull'incendio adiacente al poligono pol040007 che risulta essere avvenuto l'11 settembre, 3 giorni prima del passaggio del satellite (14 settembre), e che non sembra essere stato rilevato dalla procedura per la delimitazione dell'incendio sull'immagine satellitare.

Il poligono pol040008 risulta fuori parco.

MIN. AMB. Effettivamente è alta la perplessità di un mancato rilievo del perimetro di un incendio – ancorché su soprassuolo prettamente erbaceo – partendo dall'immagine da satellite di appena 3 giorni dopo l'evento. (Vediamo ortofoto 2005-06, anche se forse troppo distanti cronologicamente).

IREA. L'area in questione viene rilevata dal satellite, ma è caratterizzata da un'estensione di 0.5 ha e quindi non è riportata nello shapefile dei risultati (figura 4).

Comando Stazione Grisolia

Il personale del Comando Stazione dichiara che i rilievi effettuati nell'anno 2004 sono stati eseguiti senza l'uso del GPS ma con il solo tracciamento del perimetro su cartografia IGM in scala 1:25.000. I perimetri delle aree incendiate venivano poi inserite nel SIM da un altro operatore del CTA. Tale modo di procedere ha introdotto notevoli errori sul posizionamento del rilievo il cui livello di precisione del contorno risulta pertanto essere molto basso.

Località 5: Serra la Vriglia

Poligono derivato dalle immagini satellitari: pol040037.

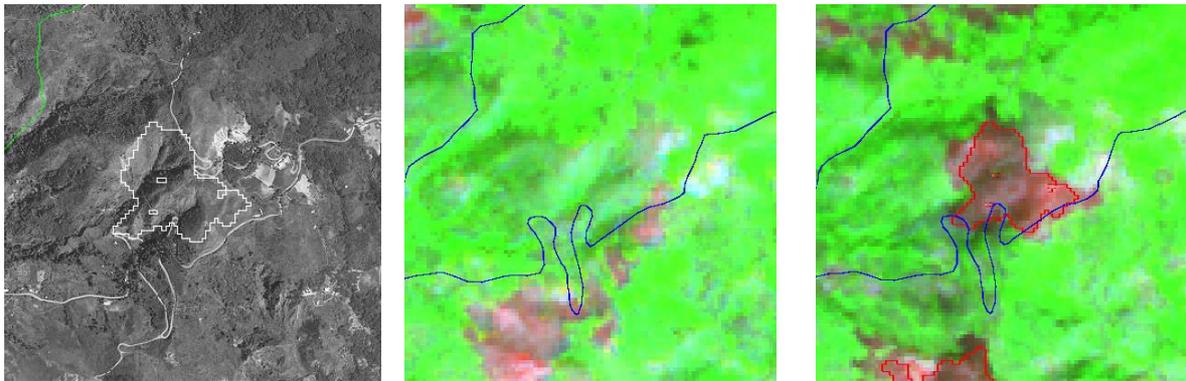


Figura 5 – Ortofoto, ritaglio dell'immagine dell'11/08/03 (centro) e del 14/09/04 (a destra).

CFS. Per questo rilievo non abbiamo il riscontro sulla immagine da satellite (aggiunta dopo dall'IREA).

L'incendio rilevato da satellite non è stato considerato incendio boschivo, quindi non è stato rilevato.

DPN. Incendio verificatosi ma non rilevato (col GPS) perché non considerato incendio boschivi.

IREA. A parziale conferma di quanto sopra, su questa area la Corine Land Cover 2000 indica "colture agrarie con presenza di spazi naturali" (cod. 243).

Località 6: Acqua della vecchia

Poligoni derivati dalle immagini satellitari: pol040035, pol040036.

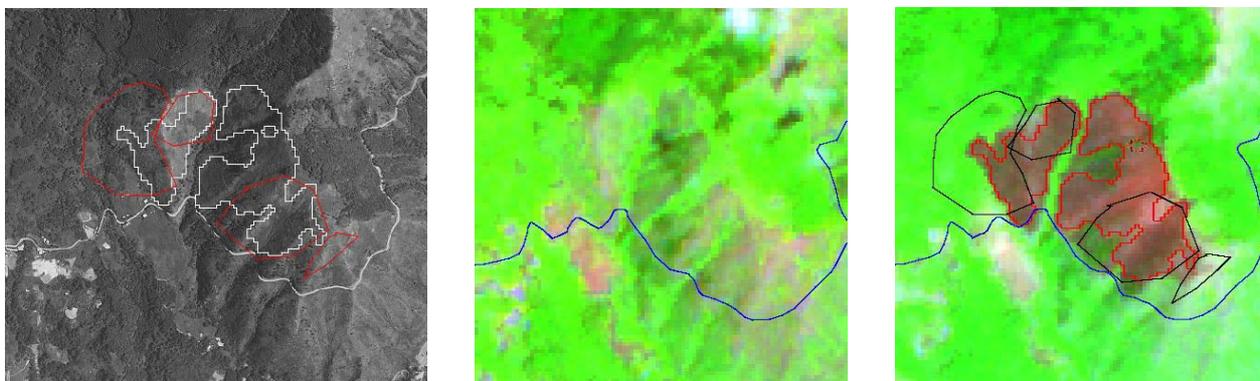


Figura 6 – Ortofoto, ritaglio dell'immagine del 01/08/02 (centro) e del 14/09/04 (a destra).

CFS. La posizione corretta degli incendi è quella rilevata da satellite. Si tratta di 4 incendi diversi.

DPN. Il CFS conferma la correttezza dei perimetri da satellite, anche se si ribadisce trattasi di 4 incendi distinti: probabilmente i due del poligono a sinistra sono adiacenti-confinanti sul crinale e gli altri due sono adiacenti su una delle due strettoie presenti nel perimetro rilevato.

Località 7: Monte Romano

Poligono derivato dalle immagini satellitari: pol040046.

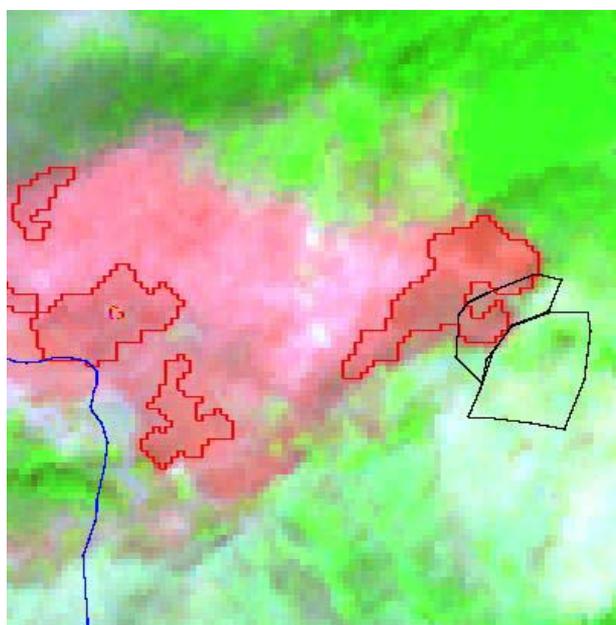
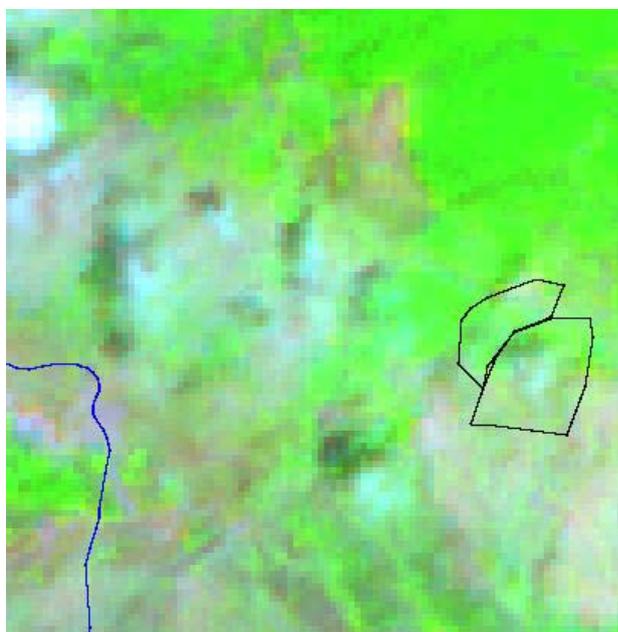
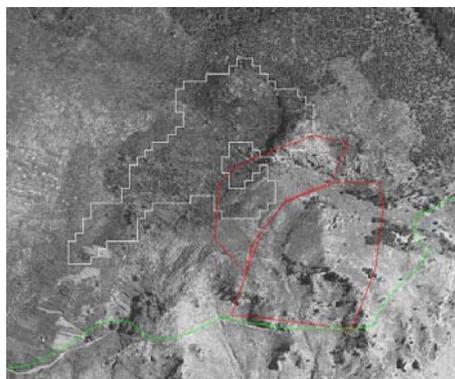


Figura 7 -Ortofoto, ritaglio dell'immagine del 21/07/04 (centro) e del 14/09/04 (a destra).

CFS. Per questi rilievi non abbiamo il riscontro sulla immagine da satellite (aggiunta dopo dall'IREA).

Il personale dichiara, anche dopo la verifica dei dati catastali, che i rilievi sono stati posizionati in maniera errata.

IREA. L'area bruciata reale potrebbe essere più estesa di quella rilevata con la metodologia utilizzata.

Località 8: Maiera

Poligoni derivati dalle immagini satellitari: pol040033, pol040034, pol040047.

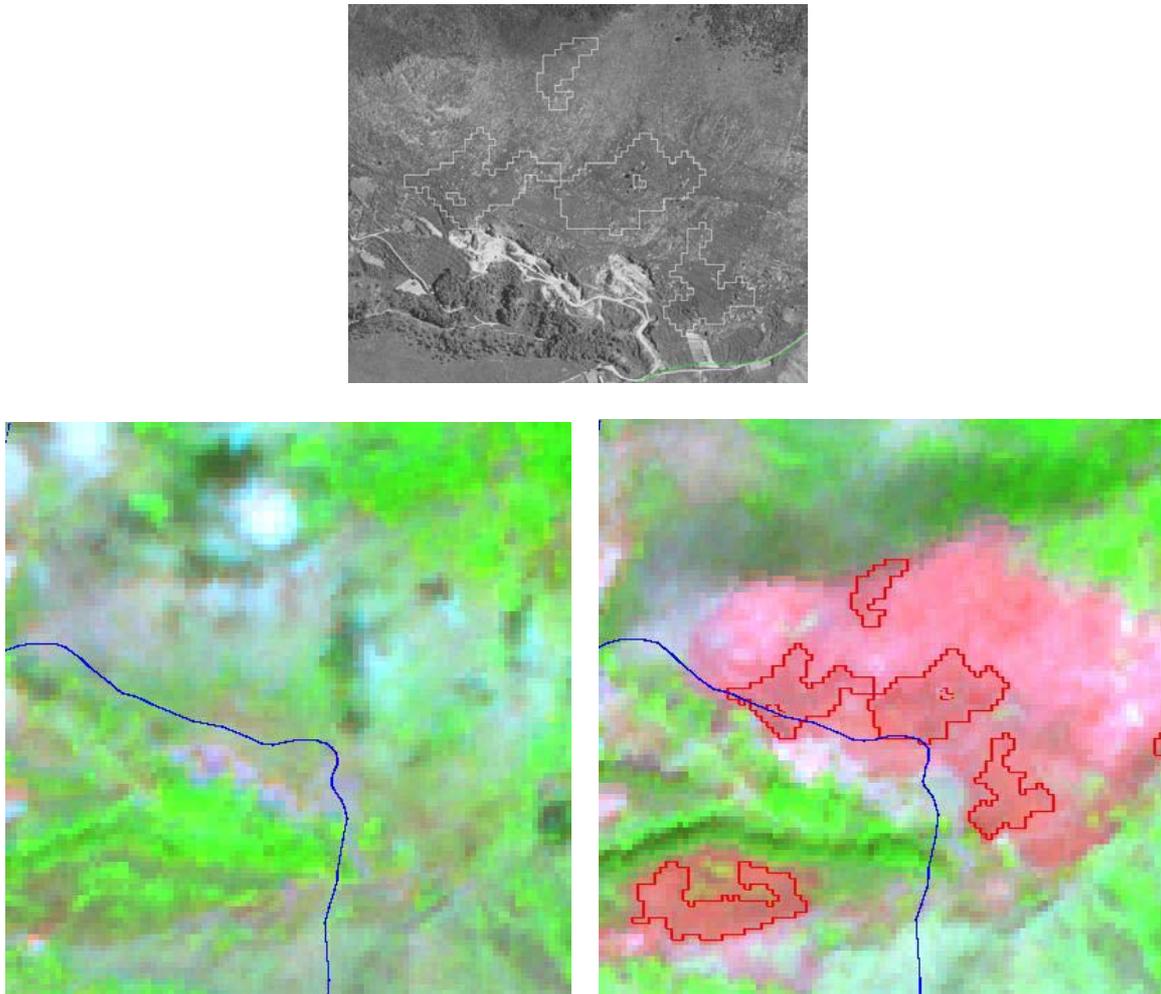


Figura 8 – Ortofoto, ritaglio dell'immagine del 21/07/04 (centro) e del 14/09/04 (a destra).

CFS. Per questi rilievi non abbiamo il riscontro sulla immagine da satellite (aggiunta dopo dall'IREA).

Gli incendi rilevati da satellite non sono stati considerati incendi boschivi, quindi non sono stati rilevati.

DPN. Incendi verificatesi e rilevati dal SAT ma non rilevati (a terra col GPS) perché non considerati incendi boschivi.

Probabilmente è andato a fuoco l'intera area "rosa" (di suolo quasi nudo) di cui le zone con maggior sostanza organica bruciata sono quelle rilevate con l'interpretazione da SAT

IREA. Su questa area la Corine Land Cover 2000 indica "pascolo naturale o praterie di alta quota" (cod. 321); l'area bruciata reale potrebbe essere più estesa di quella rilevata con la metodologia utilizzata.

Località 9: Monte Carpinoso

Poligoni derivati dalle immagini satellitari: pol040031, pol040032.

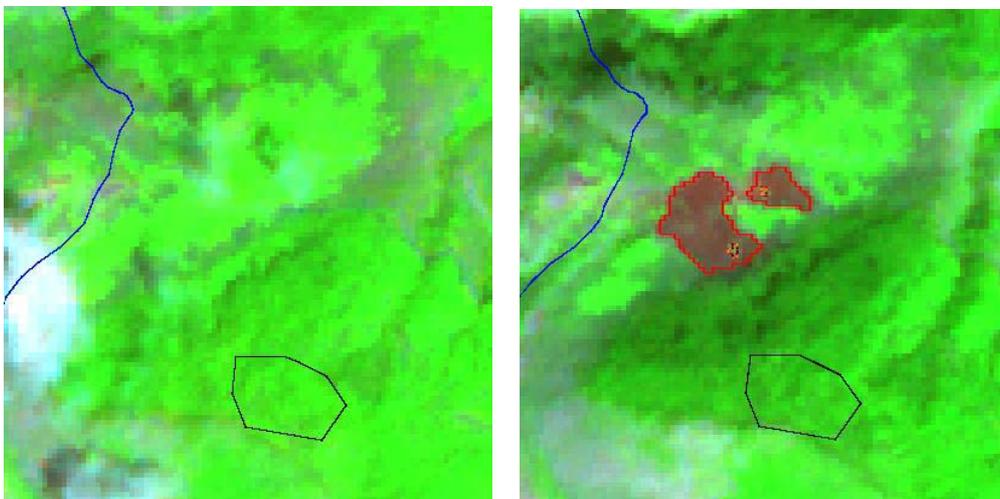
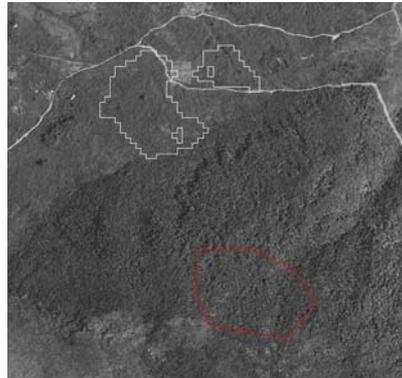


Figura 9 – Ortofoto, ritaglio dell'immagine del 21/07/04 (centro) e del 14/09/04 (a destra).

CFS. Per questo rilievo non abbiamo il riscontro sulla immagine da satellite (aggiunta dopo dall'IREA).

Anche in questo caso la posizione corretta dell'incendio è quella registrata dall'immagine satellitare. I due poligoni fanno parte dello stesso incendio.

DPN. Bene posizione perimetro da SAT ancorché trattasi di un unico incendio e quindi di un unico poligono; probabilmente non rilevato come tale per il metodo di interpretazione prudentiale di cui sopra.

Località10: Formica Crescione

Poligoni derivati dalle immagini satellitari: pol040028, pol040029, pol040030.

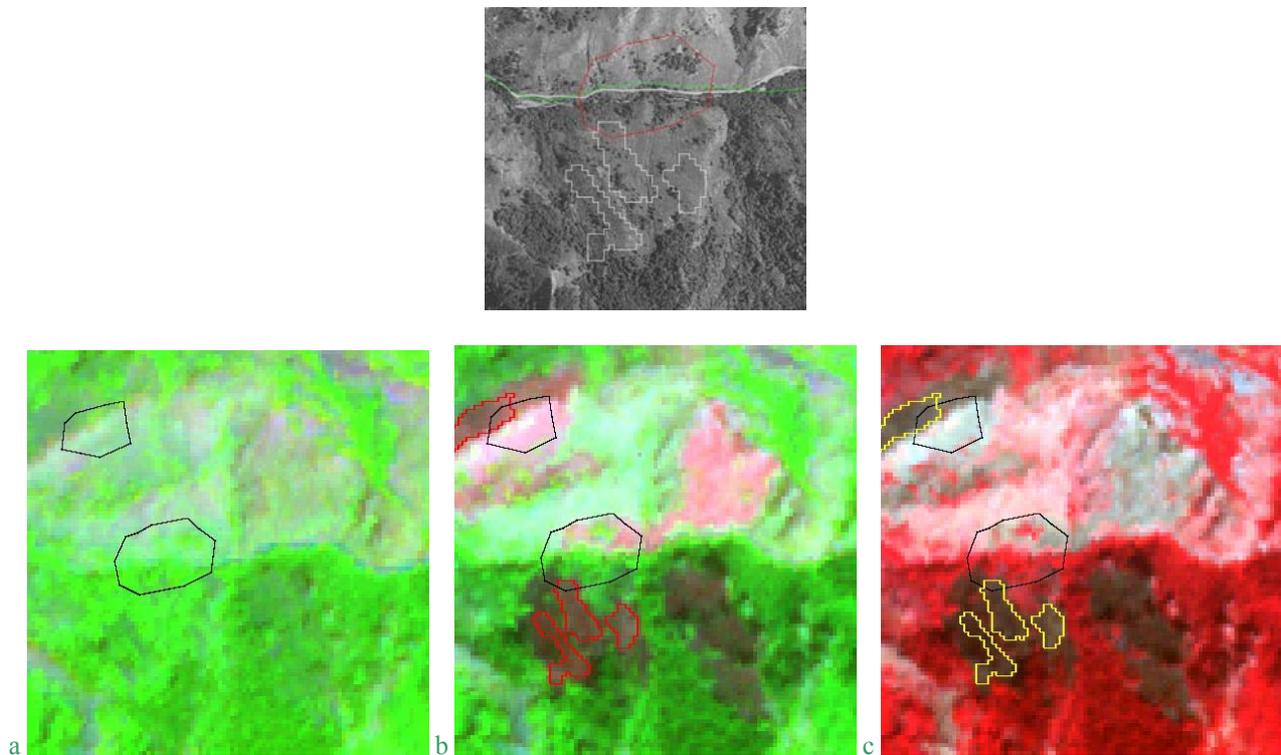


Figura 10 – Ortofoto, ritaglio dell'immagine del 21/07/04 (a) e del 14/09/04 con RGB 832 (b) e 321 (c).

CFS. Per questo rilievo non abbiamo il riscontro sulla immagine da satellite (aggiunta dopo dall'IREA).

L'incendio è intercomunale pertanto dovrebbe comprendere una porzione di territorio oltre il limite comunale. Il rilievo CFS è comunque molto impreciso.

DPN. Ci sono probabili imprecisioni con ambedue i metodi (da SAT e GPS); è bene vedere meglio l'immagine satellitare anche per verificare la bande spettrali nella parte nord sopra la strada, del comune limitrofo, che risulta al CFS anch'essa parzialmente percorsa dal fuoco.

IREA. Confrontando le due immagini del 21/07/04 e del 14/09/04 è ipotizzabile che l'incendio intercomunale citato dal CFS sia rappresentato dall'area in rosa a nord della strada (in alto a destra sulla 14/09, da Corine "vegetazione sparsa") ma è da verificare; il metodo classifica questa area come "suolo nudo". A sud della strada si notano invece 2 aree bruciate parzialmente rilevate con la metodologia utilizzata; dove secondo la Corine la vegetazione è di "boschi di latifoglie" (cod. 311).

Località 11: Crescione- Massavetri

Poligoni derivati dalle immagini satellitari: pol040026, pol040027.

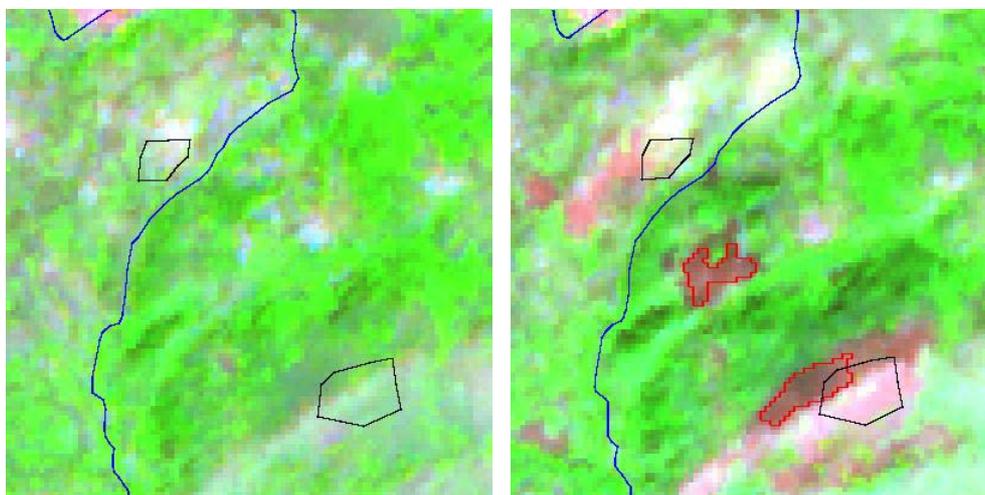


Figura 11 – Ortofoto, ritaglio dell'immagine del 21/07/04 (centro) e del 14/09/04 (a destra).

CFS. Per questi rilievi non abbiamo il riscontro sulla immagine da satellite (aggiunta dopo dall'IREA).

Anche in questi casi è maggiore l'attendibilità del rilievo sull'immagine satellitare.

Località 12: Aberosa – Canale San Giuseppe

Poligoni derivati dalle immagini satellitari: pol040023, pol040024, pol040025.

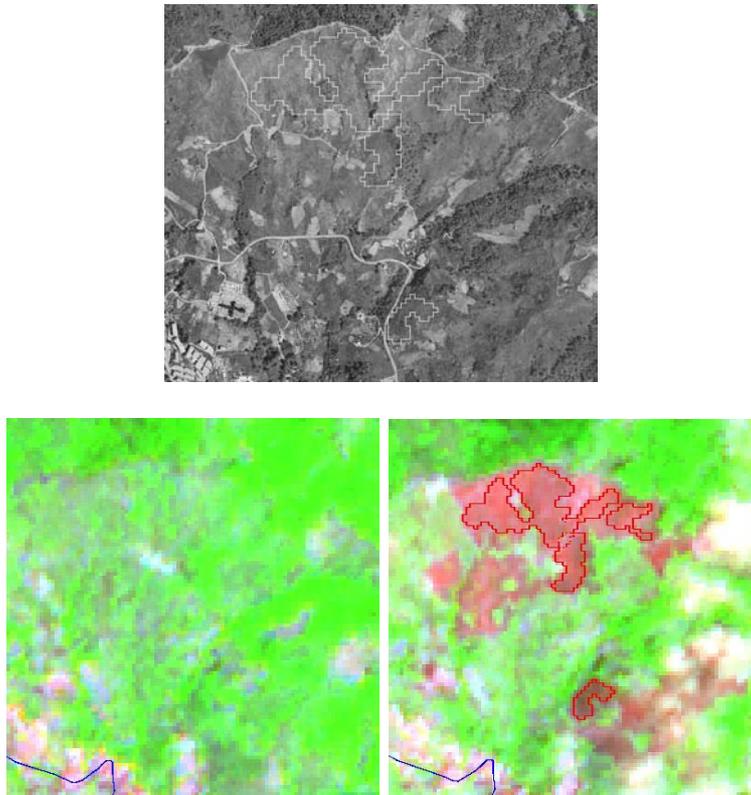


Figura 12 – Ortofoto, ritaglio dell'immagine del 21/07/04 (centro) e del 14/09/04 (a destra).

CFS. Per questi rilievi non abbiamo il riscontro sulla immagine da satellite. (aggiunta dopo dall'IREA).

Gli incendi non sono stati rilevati dal personale CFS in quanto non sono stati considerati incendi boschivi.

AMP. Incendi verificatesi ma non rilevati (col GPS) perché non considerati incendi boschivi, Anche se l'area isolata a sud, di circa 1,25 ettari è boscata per circa metà della superficie.

IREA. Su questa area la Corine Land Cover 2000 indica "seminativi in aree non irrigue" (cod. 211) e "coltivazioni annuali associate a coltivazioni perenni" (cod. 241). L'area bruciata reale potrebbe essere più estesa di quella rilevata da satellite.

Comando Stazione Orsomarso

Il personale del Comando Stazione afferma che i rilievi effettuati nell'anno 2004 sono stati eseguiti senza l'uso del GPS perché ancora non disponibile ma con il solo tracciamento del perimetro su cartografia IGM in scala 1:25.000 e con l'ausilio di mappe catastali. Tale modo di procedere ha introdotto notevoli errori sul posizionamento del rilievo il cui livello di precisione del contorno risulta pertanto essere molto basso.

Località 13: Castel di Raione - Mira

Poligono derivato dalle immagini satellitari: pol040045.

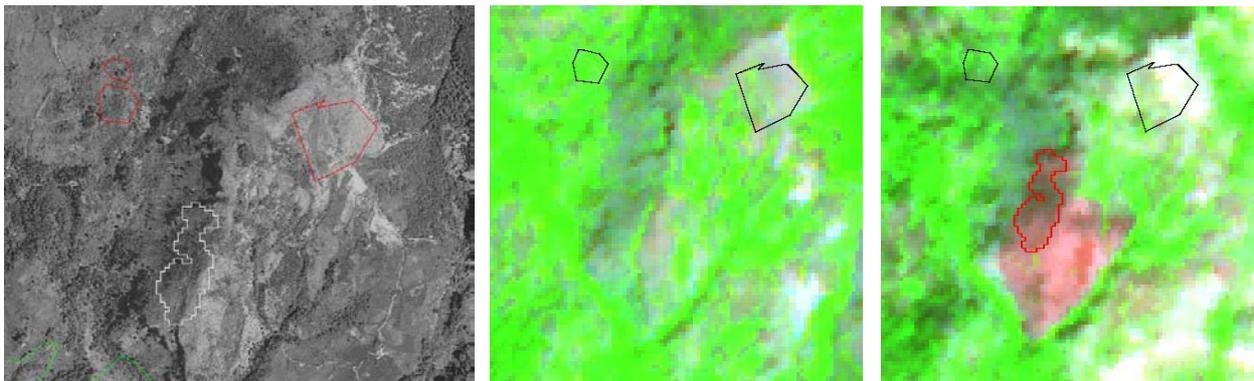


Figura 13 – Ortofoto, ritaglio dell'immagine del 21/07/04 (centro) e del 14/09/04 (a destra).

CFS. Per questi rilievi non abbiamo il riscontro sulla immagine da satellite. (aggiunta dopo dall'IREA).

Si tratta presumibilmente di un incendio diverso che non è stato rilevato.

DPN. Dall'esame dell'ortofoto i confini delle aree rilevate dalle due metodologie risultano difficilmente spiegabili.

IREA. Il poligono CFS di sinistra è posteriore alla data dell'immagine, che è l'ultima della serie annuale, quindi non è rilevabile; l'altro vicino è inferiore all'ettaro. L'area coperta dal poligono di destra (incendio 16/08/04) non è visibile per la presenza di una nuvola, quindi non è rilevabile.

Il poligono rilevato da satellite invece potrebbe riguardare un caso diverso. In quest'area la copertura è "colture agrarie con presenza di spazi naturali" (cod. Corine 243).

Località14: Serra Bonangelo

Poligono derivato dalle immagini satellitari: pol040022.

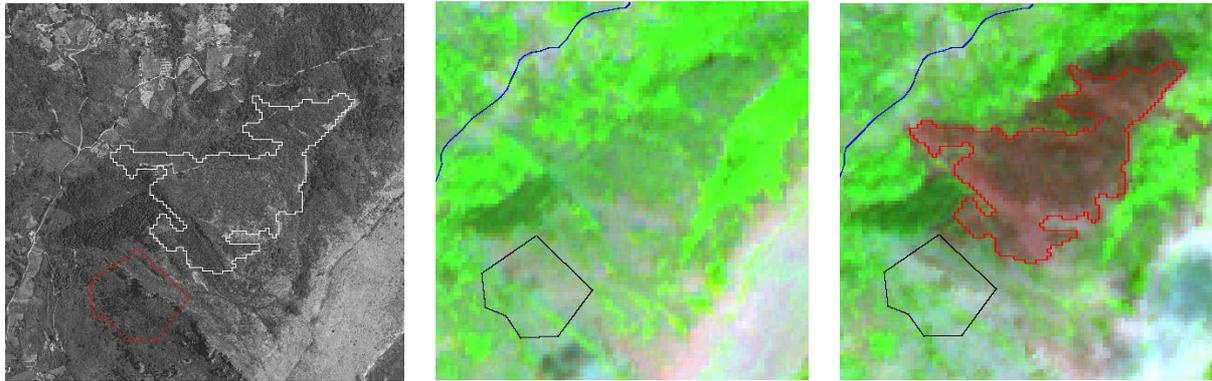


Figura 14 – Ortofoto, ritaglio dell'immagine del 21/07/04 (centro) e del 14/09/04 (a destra).

CFS. Il poligono giusto potrebbe essere quello estrapolato dall'immagine satellitare.

IREA. Su questa area la Corine Land Cover 2000 indica “pascolo naturale e praterie di alta quota” (cod. 321) e “boschi di latifoglie” (cod. 311).

Località 15: Cimminito - Garramillo

Poligono derivato dalle immagini satellitari: pol040044.

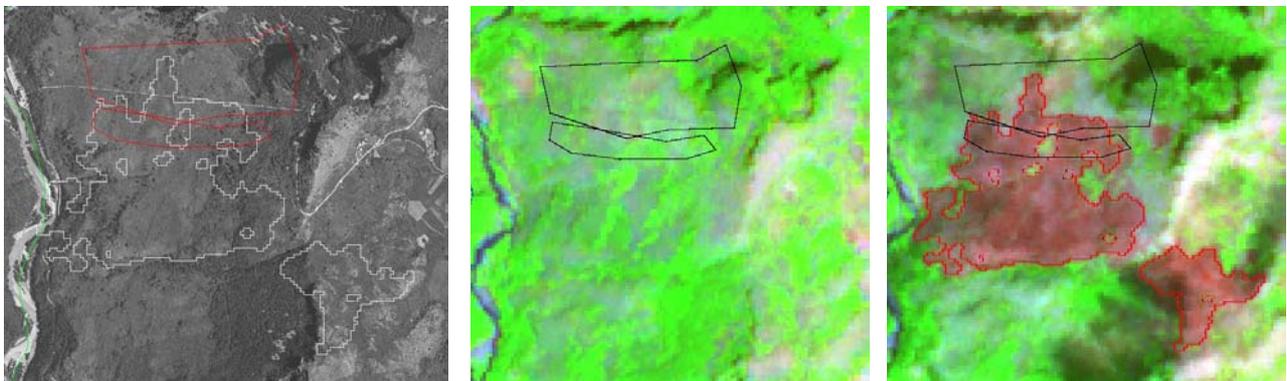


Figura 15 – Ortofoto, ritaglio dell'immagine del 21/07/04 (centro) e del 14/09/04 (a destra).

CFS. I rilevatori sono abbastanza sicuri della posizione degli incendi perché ricordano che è stato preso come riferimento il condotto idroelettrico visibile sull'ortofoto.

L'area estesa rilevata dall'immagine satellitare potrebbe riferirsi ad un altro incendio successivo che non è stato rilevato.

IREA. La posizione del poligono CFS del 26/08 (quello più a nord) appare dubbia, poiché sembra che l'incendio non lo abbia interessato nella parte di destra, infatti la vegetazione (trattasi di pascolo, cod. 321) non ha subito variazioni rispetto all'immagine precedente a differenza delle zone delimitate dai due poligoni da satellite.

Comando Stazione Papasidero

Anche in questo caso i rilievi effettuati nell'anno 2004 sono stati eseguiti senza l'uso del GPS perché ancora non disponibili ma con il solo tracciamento del perimetro su cartografia IGM in scala 1:25.000. Il contorno dell'area incendiata, di conseguenza, risulta poco accurato ma il posizionamento non è ritenuto dai rilevatori errato.

Località 16: Varco

Poligono derivato dalle immagini satellitari: pol040017, pol040018, pol040019, pol040020, pol040043.

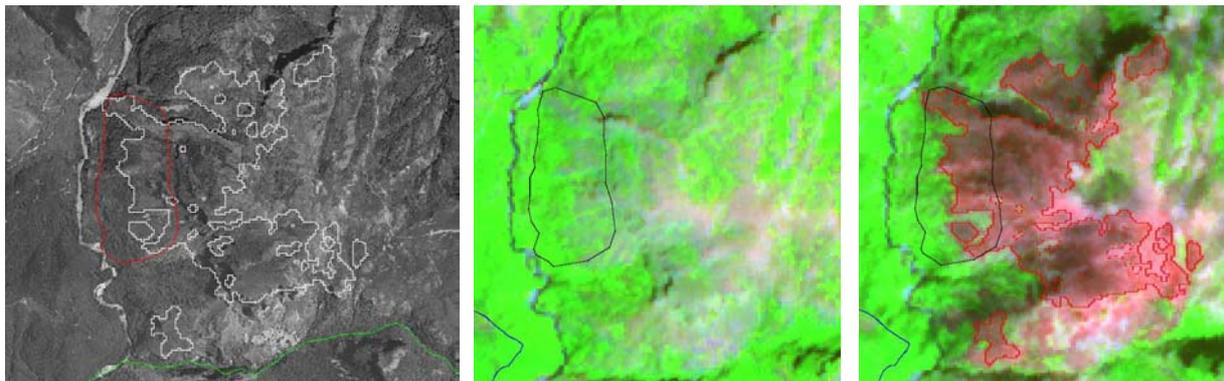


Figura 16 – Ortofoto, ritaglio dell'immagine del 21/07/04 (centro) e del 14/09/04 (a destra).

CFS. I rilevatori ritengono che l'estensione e la posizione dell'incendio siano esatti. La porzione di area con vegetazione arborea è stata interessata da incendio di sottobosco probabilmente non rilevato dal satellite. Nella scheda AIB_FN sono stati dichiarati 20 ha di bosco e 20 ha di prateria bruciati, il che è conforme a quanto visibile dall'ortofoto. Il resto dell'area classificata come incendiata sull'immagine da satellite è rappresentata da prateria composta prevalentemente da felci ma non è stata interessata dal passaggio del fuoco.

DPN. Vista la discreta estensione dei poligoni rilevati col SAT, occorre una verifica puntuale del CNR per capire il probabile motivo con l'aiuto del commento CFS. (Vediamo ortofoto 2005-06, anche se forse troppo distanti cronologicamente).

IREA. Il confronto con l'immagine precedente mette in evidenza un evidente cambiamento nella risposta della superficie; probabilmente si tratta di un evento posteriore al rilievo CFS e quindi non registrato.

Località 17: Massa - Maralongo

Poligono derivato dalle immagini satellitari: pol040010, pol040011, pol040012, pol040013, pol040014.

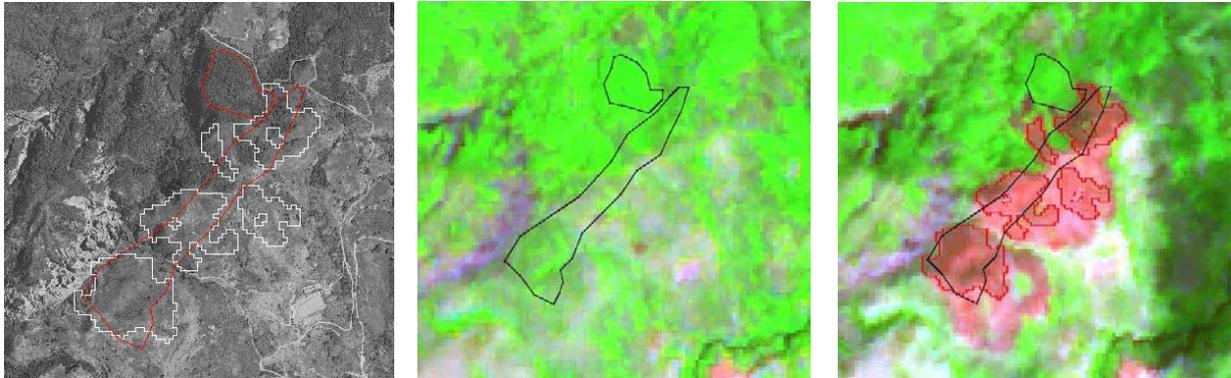


Figura 17 – Ortofoto, ritaglio dell'immagine del 21/07/04 (centro) e del 14/09/04 (a destra).

CFS. L'area rilevata a nord (Massa) è stata interessata da incendio di sottobosco, quindi, probabilmente non rilevato dal satellite.

L'area più grande (Maralongo) potrebbe non avere una forma precisa ma comunque si tratta di un incendio continuo e non frammentato come appare da satellite.

DPN. Anche in questa area la frammentazione potrebbe essere dovuta ad incendio di sottobosco e quindi con la copertura arborea solo parzialmente interessata dal fuoco.

IREA. La metodologia di classificazione tende a favorire gli errori di omissione rispetto a quelli di commissione (approccio conservativo) per cui può dare origine a poligoni frammentati, per le zone dove l'incendio è stato più intenso e il segnale è più duraturo nel tempo (l'incendio registrato dal CFS risale al 19/08/2004). L'incendio ha interessato un'area a pascolo (cod. Corine 321).

Località18: Pastirosa – Madonna del Soccorso

Poligono derivato dalle immagini satellitari: pol040015, pol040016.

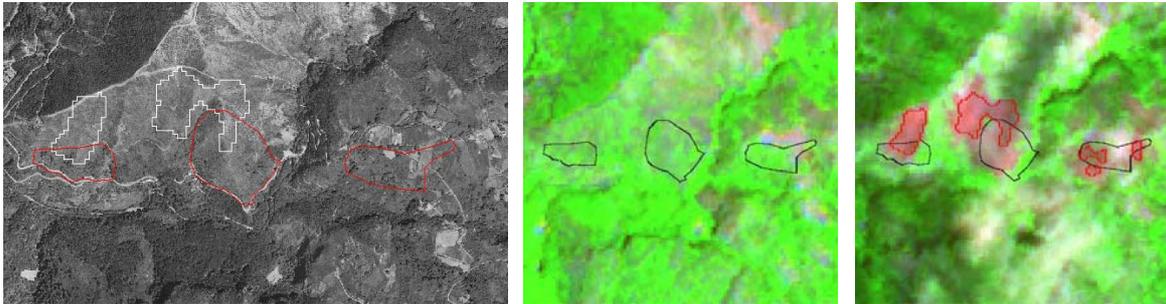


Figura 18 – Ortofoto, ritaglio dell'immagine del 21/07/04 (centro) e del 14/09/04 (a destra).

CFS. Per questi rilievi non abbiamo il riscontro sulla immagine da satellite. (aggiunto dopo dall'IREA).

Il rilievo di sinistra (Pastirosa) risulta essere esatto in quanto è stato fermato sulla strada e così risulta dall'ortofoto. L'incendio si è verificato il 24/07/2004 mentre l'immagine satellitare è riferita al 14/09/2004, quindi, circa 50 giorni dopo; la vegetazione erbacea potrebbe aver ripreso.

Il rilievo di centro (Madonna del Soccorso) è sicuramente giusto nella parte bassa, in corrispondenza della strada, potrebbe però essere impreciso nella parte alta.

L'incendio di destra non è stato rilevato dal satellite.

DPN. Per i due perimetri a sinistra l'ipotesi più probabile è che l'incendio abbia interessato ambedue le aree; iniziata sottobosco dalla strada (CFS) nella parte più boscata e proseguita verso l'alto su pascoli (SAT).

IREA. L'area bruciata di Pastirosa potrebbe essere più estesa in direzione della strada a valle, ma è dubbio che abbia una forma allungata in direzione orizzontale come da fonte CFS.

L'area bruciata di Madonna del Soccorso appare sicuramente più estesa verso valle; la mancata corrispondenza fra il bordo del poligono CFS e l'area bruciata sull'immagine è dovuta all'imprecisa georeferenziazione di questa ultima.

Per entrambi i casi si tratta di una copertura a pascolo (cod. Corine 321).

L'area bruciata di destra viene sì rilevata dal satellite, ma da 3 poligoni ciascuno con un'estensione inferiore all'ettaro e quindi non sono riportati nello shapefile dei risultati. L'incendio risale a 50 giorni prima della data dell'immagine e la copertura è "colture agrarie con presenza di spazi naturali" (cod. 243).

Località 19: C.sta di Chiaravoia

Poligono derivato dalle immagini satellitari: pol040042.

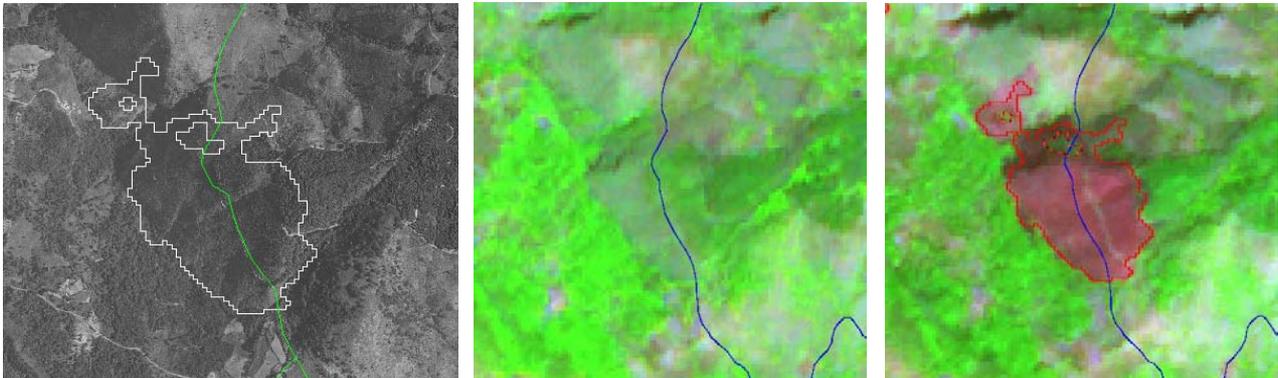


Figura 19 – Ortofoto, ritaglio dell'immagine del 21/07/04 (centro) e del 14/09/04 (a destra).

CFS. Per questo rilievo non abbiamo il riscontro sulla immagine da satellite. (aggiunto dopo dall'IREA).

L'incendio si è originato nel Comune di San Nicola (fuori parco) e si è espanso fino al Comune di Santa Domenica Talao (nel parco). Per questo non è stato rilevato dal Comando Stazione parco.

DPN. La parte sopra strada (est – interna al parco) risulta essere un rimboscimento giovane facile da controllare.

IREA. Su questa area la Corine Land Cover 2000 indica “pascolo naturale e praterie di alta quota” (cod. 321) fuori dal parco e “boschi misti” (cod. 313) nel parco.

CONCLUSIONI

Il confronto dei diversi metodi di rilievo delle aree percorse dal fuoco e le varie osservazioni sopra riportate supportano la tesi di una validità oggettiva dei perimetri rilevati da satellite, nonché l'importanza di integrare e confrontare questi perimetri con i poligoni da GPS ottenibili con i sopralluoghi post incendio.

Questa cartografia delle aree percorse dal fuoco è utilizzabile come importante informazione georiferita che, appoggiata su altri strati informativi come le ortofoto, una buona carta della vegetazione o una buona carta della morfologia (DTM), permettono valutazioni importanti ai fini della pianificazione e della lotta contro gli incendi boschivi.

All'attualità ed ancor più nel futuro, per questi fini, la metodologia utilizzata con l'interpretazione di immagini da satellite risulta probabilmente la più veloce ed efficace per processare aree molto vaste in breve tempo, seguendo una metodologia oggettiva, valida, ripetibile e dai costi relativamente contenuti.



ALLEGATO 4

Seminario formativo

Telerilevamento da satellite per gli incendi boschivi

Un sistema integrato per il monitoraggio e la mappatura delle aree percorse da incendio nei Parchi Nazionali attraverso l'utilizzo dei dati da satellite

Convenzione fra Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - Direzione per la Protezione della Natura (DPN) ed il Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (CNR-IREA)

Seminario formativo: Telerilevamento da satellite per gli incendi boschivi

Roma, 19 – 21 giugno 2007

Programma

Il Seminario formativo rivolto ai tecnici DPN e PN prevede una parte ridotta di lezioni teoriche introduttive del Telerilevamento per lasciare maggior spazio alle esercitazioni pratiche su computer utilizzando un sistema di *image processing* (con licenza temporanea di uso) messo appositamente a disposizione.

Primo Giorno

Mattina: Teoria

- Introduzione al Telerilevamento
- Radiazione elettromagnetica e spettro
- Leggi fisiche della radiazione
- Interazione radiazione superfici: firme spettrali
- Dati multi-spettrali e informazione del colore
- Immagini digitali: visualizzazione, analisi statistica, tecniche di elaborazione

Pomeriggio: Esercitazioni al computer

- Introduzione alla elaborazione numerica
- Importazione e gestione dati di formati diversi (ASTER, SPOT, ecc.)
- Visualizzazione bande spettrali B/N, colore, falsi colori
- Analisi immagini: valore, profili, istogrammi
- Tecniche di miglioramento del contrasto (lineare, ecc.), filtraggio

Secondo Giorno

Mattina: Teoria

- Indici spettrali e sogliatura
- Classificazione delle immagini
- Metodi di classificazione senza supervisione: clustering
- Metodi di classificazione con supervisione: approccio bayesiano
- Metodologia di validazione dei risultati

Pomeriggio: Esercitazioni al computer

- Applicazione ai dati ASTER di indici spettrali per le aree bruciate
- Classificazione di Massima Verosimiglianza
- Estrazione dati vettoriali
- Gestione dati raster e dati vettoriali

Terzo Giorno

Mattina e Pomeriggio: Esercitazioni al computer

- Realizzazione di un Caso di Studio (Parco Nazionale del Pollino)
- Discussione e valutazione dei risultati



Lezioni di teoria del Telerilevamento



Esercitazioni pratiche di Telerilevamento

Lista dei Partecipanti:

Cognome	Nome	Ente appartenenza
Petrucci	Bruno	DPN - Min. Ambiente
Martinis	Arrigo	DPN - Min. Ambiente
Luciano	Tommaso	DPN - Min. Ambiente
Romagnoli	Gianni	DPN - Min. Ambiente
Tassi	Franco	PN Monti Sibillini
Satta	Vincenzo	PN Arcipelago La Maddalena
Rubattu	Antonio	PN Arcipelago La Maddalena
Reichegger	Ignaz	PN Circeo
Bellantoni	Ilaria	PN Cinque Terre
Garibotto	Luca	PN Cinque Terre - CTA
Valicenti	Arturo	PN Pollino
Calzolaio	Alfonso	PN Gran Sasso
Festuccia	Luca	PN Gran Sasso - CTA
Corsi	Michele	PN Arcipelago Toscano
Nardella	Luigi	PN Arcipelago Toscano
Bigiarini	Stefano	PN Foreste Casentinesi
Macino	Colomba	PN Maiella
Liberatoscioli	Elena	PN Maiella
Magno	Ciro	PN Gargano
Canini	Laura	Corpo Forestale Stato
Colatosti	Pamela	Corpo Forestale Stato

Docenti del Seminario:

- Pietro Alessandro Brivio ricercatore CNR-IREA coordinatore
- Claudia Giardino ricercatrice CNR-IREA responsabile lezioni teoriche
- Paolo Zaffaroni assegnista CNR-IREA responsabile esercitazioni pratiche.