



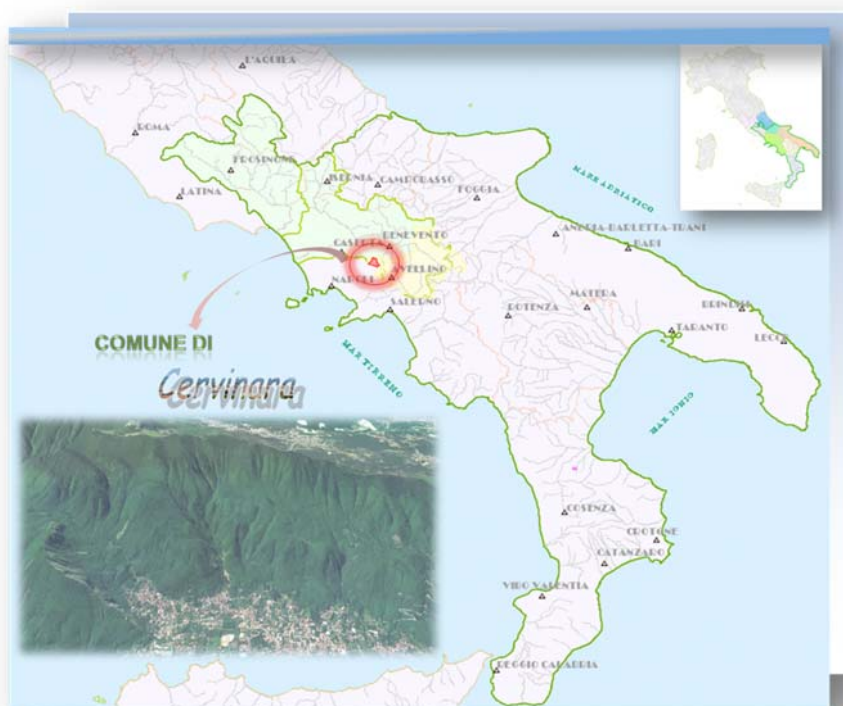
*Autorità di Bacino
dei fiumi Liri-Garigliano e Volturno*



Comune di Cervinara
Provincia di Avellino

ACCORDO DI PROGRAMMA

*Autorità di Bacino dei fiumi Liri-Garigliano e Volturno
e
Comune di Cervinara*



MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO FINALIZZATO AL GOVERNO DEL TERRITORIO

Elaborato:

B.5.1	STUDI E INDAGINI DEL SISTEMA AGRO-PEDOLOGICO
Scala -	
Data GIU. 2013	RELAZIONE ILLUSTRATIVA DELL'ATTIVITÀ

**AUTORITÀ DI BACINO
DEI FIUMI LIRI-GARIGLIANO E VOLTURNO
I R.U.P.**

Segretario Generale Dott.ssa. Vera Corbelli

INDICE

1.	INTRODUZIONE	1
1.1	Informazioni preesistenti	1
2.	CARTA DELL'USO DEL SUOLO	3
2.1	Le ortofoto utilizzate	3
2.2	Elaborazione di immagini satellitari	5
2.2.1	Correzione geometrica e atmosferica	6
2.2.2	Mappe degli indici spettrali	6
2.3	Uso di immagini Google Earth	7
2.4	Fotointerpretazione e rilievi di campo	8
2.5	Dettaglio della foto interpretazione	9
2.6	Legenda della Carta	11
3.	OSSERVAZIONI SUI SUOLI	13
3.1	Relazioni tra uso del suolo e spessore delle coperture	20
3.2	Relazioni tra uso del suolo e frane	22

1. INTRODUZIONE

La presente nota riporta i risultati finali di uno studio riguardante l' "analisi del sistema agro-pedologico" del territorio comunale di Cervinara (Fig. 1) "finalizzata alla redazione di una Carta della copertura e dell'uso del suolo ... alla scala 1:5.000" (di seguito semplicemente denominata "Carta dell'uso del suolo").



Figura 1 - Localizzazione dell'area di studio (territorio comunale di Cervinara, AV) nel contesto nazionale e regionale.

La Carta dell'uso del suolo è fornita in formato digitale (*shape-file* di poligoni) in allegato alla presente relazione.

Il lavoro svolto, oltre alla realizzazione della Carta dell'uso del suolo, ha consentito di acquisire alcune importanti informazioni sulle caratteristiche dei suoli dell'area di studio.

1.1 Informazioni preesistenti

La necessità di realizzare una Carta a grande scala (1:5.000) è scaturita dalla mancanza d'informazioni dettagliate riguardanti l'uso del suolo del territorio in esame. Prima della realizzazione dell'attuale Carta di dettaglio erano infatti disponibili soltanto informazioni a scala di riconoscimento (1:100.000) e di semi-dettaglio (1:50.000) riportate, rispettivamente, nella **Corine Land Cover map** (European Environmental Agency, 2000) (Fig. 2) e nella **Carta della Utilizzazione Agricola dei Suoli (CUAS)** (Regione Campania, 2009) (Fig. 3).

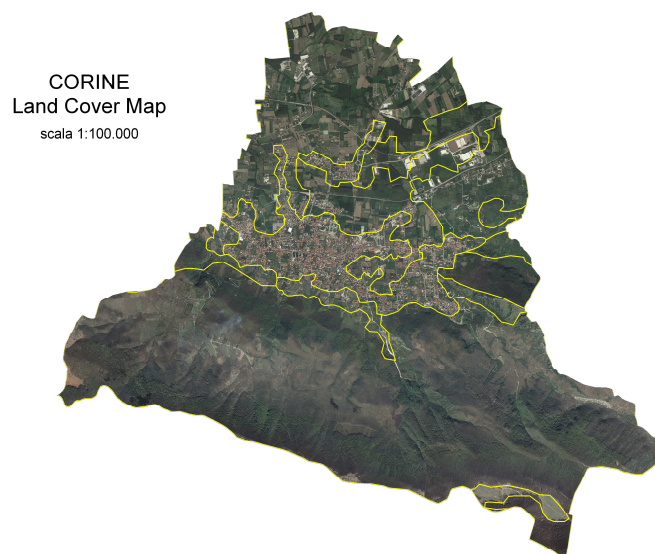


Figura 2 - Limiti della Corine Land Cover Map del Comune di Cervinara su ortofoto acquisite nel mese di aprile del 2011.

La *Corine Land Cover Map* (Fig. 2) e la CUAS (Fig. 3) suddividono, rispettivamente, il territorio di Cervinara in 12 e 85 poligoni. La Carta dell'uso del suolo in scala 1:5.000 (Fig. 4) suddivide lo stesso territorio in 645 poligoni.

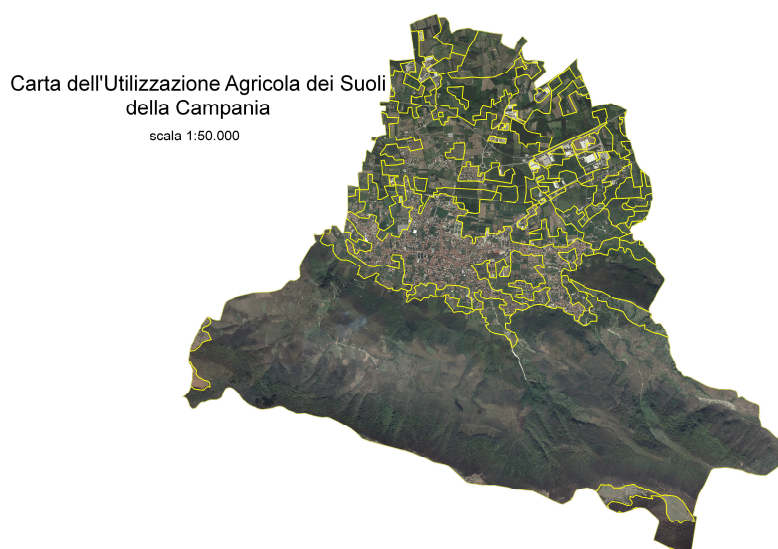


Figura 3 - Limiti della Carta dell'Utilizzazione Agricola dei Suoli (CUAS) del Comune di Cervinara su ortofoto acquisite nel mese aprile del 2011.

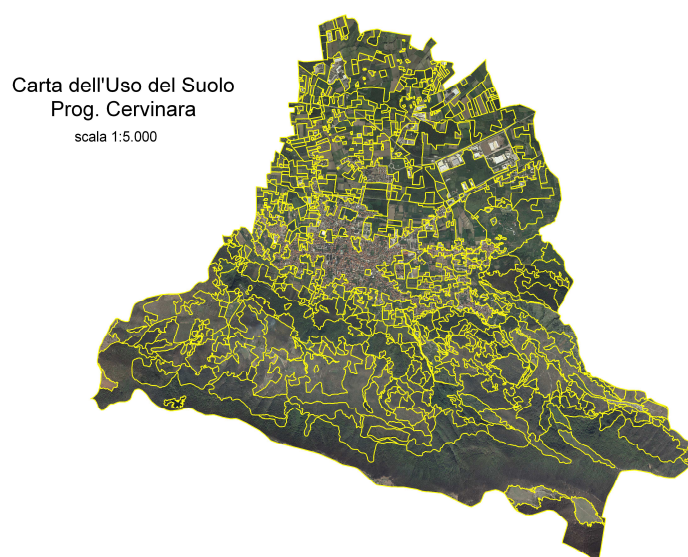


Figura 4 - Limiti dell'attuale Carta dell'uso del suolo del Comune di Cervinara in scala 1:5.000 su ortofoto acquisite nel mese di aprile del 2011.

2. CARTA DELL'USO DEL SUOLO

La Carta dell'uso del suolo di Cervinara è stata realizzata integrando la **fotointerpretazione di ortofoto a colori**, multi-temporali e multiscala, di **mappe di indici spettrali**, risultanti dall'elaborazione di immagini satellitari multi-temporali SPOT HRV e HRVIR e di **immagini multi-temporali GoogleEarth**, con **rilievi diretti di campo**.

2.1 Le ortofoto utilizzate

Sono state utilizzate tre serie di ortofoto a colori in scala nominale 1:10.000, acquisite nell'estate del 1999, 1:4.000, acquisite nell'estate del 2004 e 1:2.000, acquisite nel mese di aprile 2011.

Particolarmente utili, per l'identificazione e la cartografia delle principali tipologie di copertura vegetale, sono risultate le ortofoto del 2011, per il fatto che nel periodo della loro acquisizione (aprile) le varie specie arboree e arbustive presenti sul territorio si trovano, normalmente, in differenti fasi fenologiche, pertanto più facilmente discriminabili.

Ad esempio, l'uso delle ortofoto del 2011 ha contribuito: a) a discriminare i boschi di latifoglie mesofile e mesotermofile, già in fase di ripresa vegetativa, dai boschi di castagno (Fig. 5), ancora in fase di riposo vegetativo, b) a discriminare i castagneti dalle faggete, agli inizi della fase vegetativa (Fig. 6), c) a identificare e cartografare i ciliegeti, già in fiore.

Le ortofoto del 2011 hanno altresì consentito di discriminare con relativa facilità i castagneti governati a fustaia da quelli governati a ceduo (Fig. 7) e, nell'ambito della prima categoria, quelli più "aperti", spesso monoplanari (a causa di turni di ceduzione brevi o medi, sfollamenti e diradamenti) da quelli più "chiusi" (a causa di turni di ceduzione più lunghi). Da informazioni acquisite presso la stazione di Cervinara del Corpo Forestale dello

Stato è emerso che i castagneti più “aperti” erano, per lo più, di proprietà privata, mentre quelli più chiusi” erano, frequentemente, di proprietà comunale.

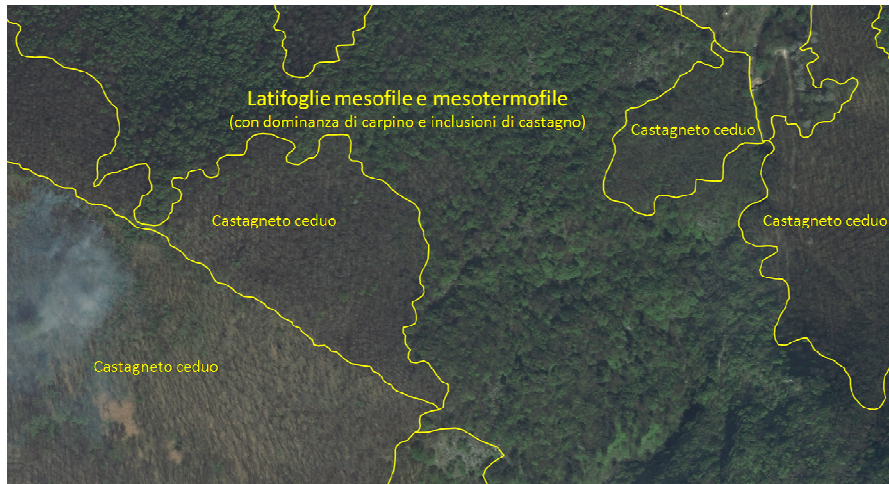


Figura 5 - Particolare della Carta dell'uso del suolo sovrapposta a ortofoto acquisite il 12 aprile 2011 di un'area a prevalenza di boschi di latifoglie mesofile e mesotermofile e boschi di castagno. È evidente la distinzione tra le due diverse tipologie d'uso del suolo.

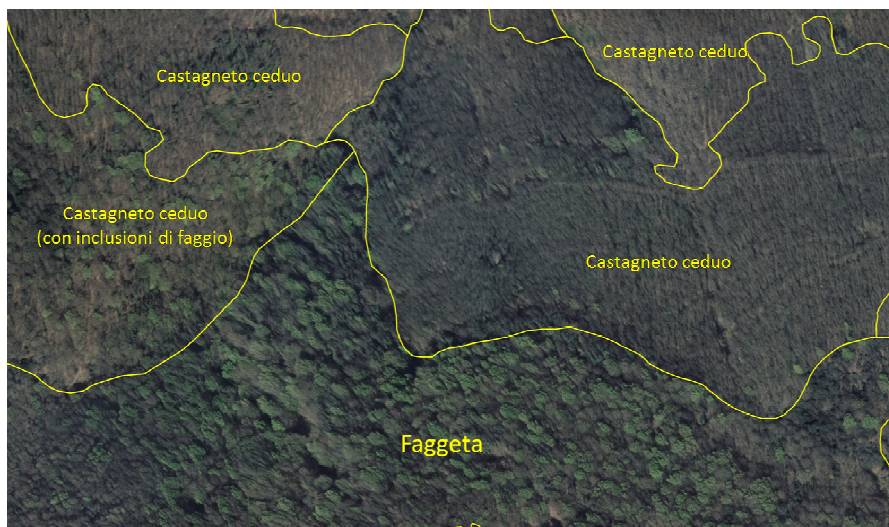


Figura 6 - Particolare della Carta dell'uso del suolo sovrapposta a ortofoto acquisite il 12 aprile 2011 di un'area a prevalenza di boschi di faggio e boschi di castagno. È evidente la distinzione tra le due diverse tipologie d'uso del suolo.

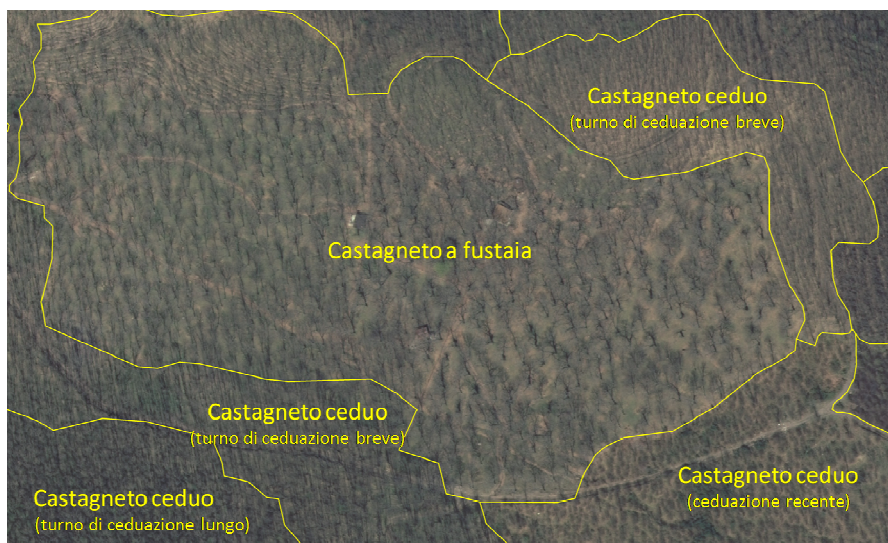


Figura 7 - Particolare della Carta dell'uso del suolo sovrapposta a ortofoto acquisite il 12 aprile 2011 di un'area a prevalenza di castagneti governati a ceduo o a fustaia. È evidente la distinzione tra le due diverse tipologie d'uso del suolo e le diverse forme di governo del ceduo.

2.2 Elaborazione di immagini satellitari

Ad integrazione della documentazione fotogrammetrica, sono state elaborate e interpretate due immagini satellitari SPOT (*Satellite Pour l'Observation de la Terre*), acquisite il 10 aprile (SPOT HRV, scena 10) e il 21 luglio 2007 (SPOT HRVIR, scena 2).

I satelliti SPOT utilizzano sensori HRV (*High Resolution Visible*) (SPOT 2) e HRVIR (*High Resolution Visible-Infrared*) (SPOT 4) che acquisiscono immagini multi-spettrali a media risoluzione spaziale in 3 e 4 bande, rispettivamente (Tab.1). Entrambi i sensori acquisiscono anche immagini pancromatiche.

Il sensore HRV, operando in modo pancromatico, produce immagini in una singola banda visibile (510-730 nm) con risoluzione spaziale (dimensione del pixel) di 10x10 m. Operando in modo multi spettrale, esso produce immagini in tre bande: 500-590 nm (verde), 610-680 nm (rosso), 790-890 nm (infrarosso vicino) con una risoluzione spaziale di 20x20 m.

Il sensore HRVIR, rispetto al sensore HRV, possiede un canale addizionale nelle onde corte infrarosse ricadente nell'intervallo di lunghezza d'onda 1580-1750 nm. Entrambi i sensori acquisiscono le immagini in strisciate larghe (*swath width*) 60 km, con una risoluzione temporale (tempo di ritorno sulla stessa scena) di 26 giorni.

Satellite	Sensore	Canale	Banda	Lunghezza d'onda (nm)	Risoluzione spaziale (m)
SPOT 4	HRVIR – modo pancromatico	PAN	Rosso	610 – 680	10
		XS1	Verde	500 – 590	20
	HRVIR – modo multispettrale	XS2	Rosso	610 – 680	
		XS3	NIR	790 – 890	
SPOT 2	HRVIR – modo pancromatico	XS4	SWIR	1530 – 1750	10
		PAN	VIS	510 - 590	
	HRVIR – modo multispettrale	XS1	Verde	500 – 590	20
		XS2	Rosso	610 – 680	
		XS3	NIR	790 – 890	

SWAT 60 km; risoluzione temporale 26 giorni

VIS = *visible* (visibile); NIR = *NearInfrared* (infrarosso vicino); SWIR = *Short-wave Infrared* (onde corte infrarosse)

Tabella 1 - Caratteristiche fondamentali dei sensori (HRVIR e HRV) trasportati a bordo dei satelliti SPOT 4 e 2.

2.2.1 Correzione geometrica e atmosferica

Le immagini satellitari contengono distorsioni dovute ad aberrazioni dei sensori ottici, ad instabilità del satellite, a variazione topografica della superficie del suolo, ecc. È pertanto necessario correggere geometricamente tali distorsioni, in particolare quando, come nel nostro caso, le immagini devono essere confrontate con fotografie aeree, mappe digitali tematiche o topografiche (Wilkinson, 1991). La rettificazione è il processo di rimozione delle distorsioni dalle immagini attraverso il loro “aggiustamento”, in modo da adattarla ad una specifica proiezione di mappa. Come risultato, ciascun pixel dell’immagine è assegnato ad un sistema di coordinate di mappa.

Il primo passo verso la rettificazione dell’immagine è la selezione di punti di controllo al suolo (*ground control points*, GCPs), vale a dire locazioni che possono essere individuate sull’immagine satellitare e sul corrispondente sistema di coordinata della mappa. Nel nostro caso, sono stati selezionati 20-25 GCPs. Le coordinate dei GCPs dell’immagine originale distorta sono state quindi trasformate in coordinate corrette adattando funzioni di tipo polinomiale ai punti di controllo, secondo il metodo dei minimi quadrati. Dopo la trasformazione, i valori dei pixel sono stati ricampionati, per adattare la matrice originale dell’immagine ad una matrice di output, utilizzando la procedura del *nearest neighbour* (Lillesand e Kiefer, 1994).

Poiché i dati satellitari sono registrati a centinaia di chilometri dalla superficie della terra, le particelle (aerosol) e i gas atmosferici possono “scatterizzare”, assorbire e rifrangere la radiazione nel suo percorso dalla superficie della terra al sensore. L’effetto atmosferico dominante è, usualmente, lo *scattering* prodotto dagli aerosol, specialmente nelle lunghezze d’onde del visibile (Chavez, 1988). Pertanto, i dati satellitari necessitano di essere processati per aggiustare gli effetti atmosferici, utilizzando differenti approcci. Ai fini del presente studio, è stato utilizzato un modello di trasferimento radiativo conosciuto come 6S (Tanné *et al.*, 1986; Vermote *et al.*, 1997), adottando una procedura che consente di ricavare le informazioni necessarie al modello dalle immagini stesse (<http://6s.ltdri.org/>).

2.2.2 Mappe degli indici spettrali

Le immagini telerilevate possono fornire importanti informazioni sulla distribuzione spaziale (cartografia) e sulla variabilità temporale (monitoraggio) della vegetazione dallo spazio. Le immagini SPOT HRV e HRVIR, per la loro buona risoluzione spaziale (20 x 20 m), possono tornare utili per indagini a scala comunale, soprattutto attraverso l’uso di mappe spettrali degli indici di vegetazione, strettamente correlati alla densità

fogliare, a sua volta influenzata dalla specie, dalla fase fenologica, dell'età e dallo stato di salute della pianta e dalle tecniche di conduzione agronomica e forestale della copertura vegetale.

Gli indici di vegetazione sono classificati sulla base del numero di canali usati. Generalmente, questo numero è dettato da quello dei canali disponibili e rilevanti (per esempio i dati termici non sono utilizzati per gli indici di vegetazione). Tuttavia, i risultati di un numero considerevole di lavori hanno evidenziato che più del 90% delle informazioni multi-spettrali è contenuto in due soli canali: il rosso (banda XS2 SPOT) e l'infrarosso vicino (banda XS3 SPOT) (Sheffield, 1985; Baret *et al.*, 1988). È per questa ragione che gli indici più correntemente utilizzati corrispondono alla combinazione di queste due bande (Baret e Guyot, 1991). L'indice più comunemente utilizzato è l'NDVI (*Normalised Difference Vegetation Index*) (Rouse *et al.*, 1976):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Nonostante la sua utilità in studi sulla vegetazione, l'NDVI ha alcune limitazioni dipendenti dalle proprietà ottiche del suolo sottostante: sono state osservate differenti relazioni tra NDVI e copertura vegetale al mutare delle condizioni di background del suolo (Jiang *et al.*, 2008 e letteratura citata). Al fine di superare questi problemi, Huete (1988) ha proposto un indice, SAVI (*Soil-Adjusted Vegetation Index*), successivamente modificato (MSAVI, *Modified Soil-Adjusted Vegetation Index*) da Qi *et al.* (1994), in grado di minimizzare gli effetti di brillantezza legati al suolo:

$$MSAVI = \frac{2NIR + 1 - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - R)}}{2}$$

Ai fini della presente indagine, le due immagini SPOT disponibili, geometricamente e atmosfericamente corrette, sono state elaborate per la produzione delle mappe degli indici spettrali NDVI e MSAVI dell'area di studio (Allegato A, Tavole 1 ÷ 4)

2.3 Uso di immagini Google Earth

In aggiunta alle ortofoto a colori e alle immagini SPOT, sono state utilizzate immagini multi-temporali (o cronologiche) Google Earth. L'uso di tali immagini ha facilitato l'identificazione e la delimitazione di alcune importanti tipologie d'uso del suolo come, ad esempio, la faggeta i cui limiti sono molto evidenti su un'immagine del 6 giugno 2010 (Fig. 8). I limiti tracciati sulle immagini Google Earth sono stati esportati come file kmz. Quest'ultimo è stato poi trasformato in shape-file e, come tale, importato in ArcGis. I limiti digitalizzati sulle immagini Google Earth sono stati modificati, quando necessario, attraverso il confronto con le ortofoto a colori e con le mappe degli indici spettrali.

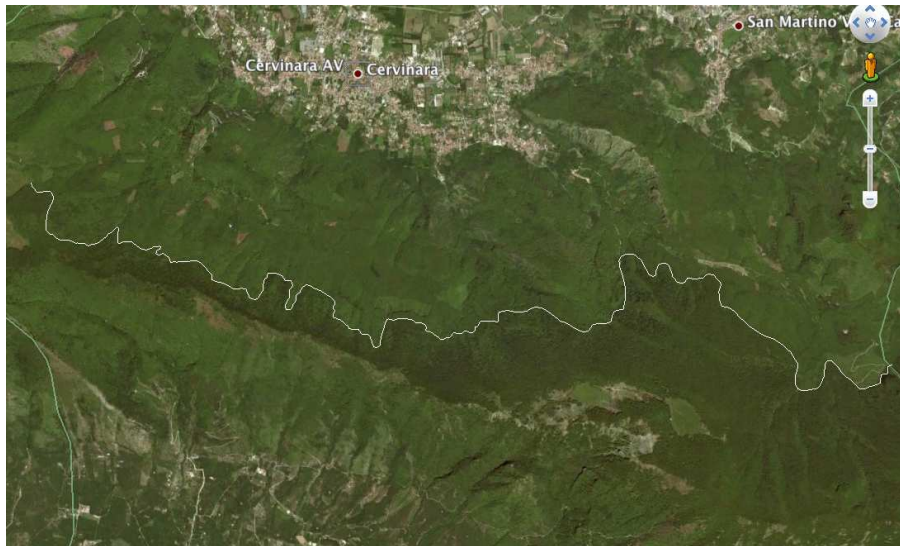


Figura 8 - Delimitazione della faggeta su un'immagine Google Earth del 6 giugno 2010.

2.4 Fotointerpretazione e rilievi di campo

Le ortofoto a colori, le mappe degli indici spettrali e le immagini Google Earth sono state utilizzate per una prima identificazione e delimitazione (cartografia) a video, in ambiente ArcGis, delle principali tipologie d'uso del suolo. L'attenzione è stata inizialmente focalizzata sul territorio montano, di particolare interesse ai fini del progetto "Rischio Idrogeologico Cervinara". Il risultato della foto-interpretazione è stato la realizzazione di una **Carta preliminare dell'uso del suolo del territorio montano del comune di Cervinara, scala 1:5.000** (gennaio 2012).

Occorre precisare che nella realizzazione della Carta preliminare (così come di quelle successive) sono stati considerati come poligoni differenti quelli appartenenti ad una stessa classe d'uso del suolo, ma che all'analisi foto-interpretativa mostravano alcune importanti caratteristiche distintive. Così, ad esempio, dove possibile, sono stati cartografati separatamente i castagneti cedui più "aperti", quelli più "chiusi" e quelli di recente ceduzione (vedi Fig. 7). Le differenze tra i diversi poligoni di una stessa classe sono state indicate come nota, nella tabella associata allo shape-file della Carta.

La fotointerpretazione è stata preceduta da una serie di rilievi di campo (Fig. 9), realizzati anche con l'ausilio di un computer (sul quale erano "caricate", le ortofoto e le mappe spettrali) e di un Tablet PC (sul quale era "caricato" Google Earth, tramite collegamento ad Internet). I sopralluoghi di campo sono risultati essenziali per il successivo lavoro di foto-interpretazione. Rilievi di campo sono stati realizzati anche in concomitanza con il lavoro di foto-interpretazione, per la verifica dei limiti e della semantica delle unità d'uso del suolo.

Nel corso di una seconda e di una terza fase (finale) d'indagine (gennaio – maggio 2012; maggio-luglio 2012), i limiti e i contenuti della Carta preliminare dell'uso del suolo del territorio montano di Cervinara sono stati riverificati e, dove necessario, modificati attraverso un attento e accurato lavoro di foto-interpretazione, combinato con un'ulteriore serie di rilievi diretti di campo. Nel corso della seconda fase d'indagine, è stato inoltre completato il lavoro di fotointerpretazione della rimanente area di pianura, utilizzando gli stessi criteri metodologici e gli stessi materiali utilizzati per la cartografia del territorio montano, compresi i rilievi di campo, realizzati prima e durante il lavoro di fotointerpretazione.

La versione finale della Carta dell'uso del suolo è stata ulteriormente verificata attraverso una serie di rilievi di campo, integrati con un'intervista agli agenti della Stazione di Cervinara del Corpo Forestale dello Stato. Alla fine del lavoro sono stati registrati oltre 300 rilievi di campo georeferiti (Fig. 10) e numerosi altri rilievi non georeferiti.



Figura 9 - Momenti del rilevamento vegetazionale.

2.5 Dettaglio della foto interpretazione

Data la complessità del territorio in esame, la Carta dell'uso agricolo del suolo di Cervinara, anche se commissionata in scala 1:5.000, è stata in gran parte fotointerpretata e digitalizzata ad una scala di maggiore dettaglio (Figg. 11, 12, 13), in taluni casi fino a 1:1.000/1:800.

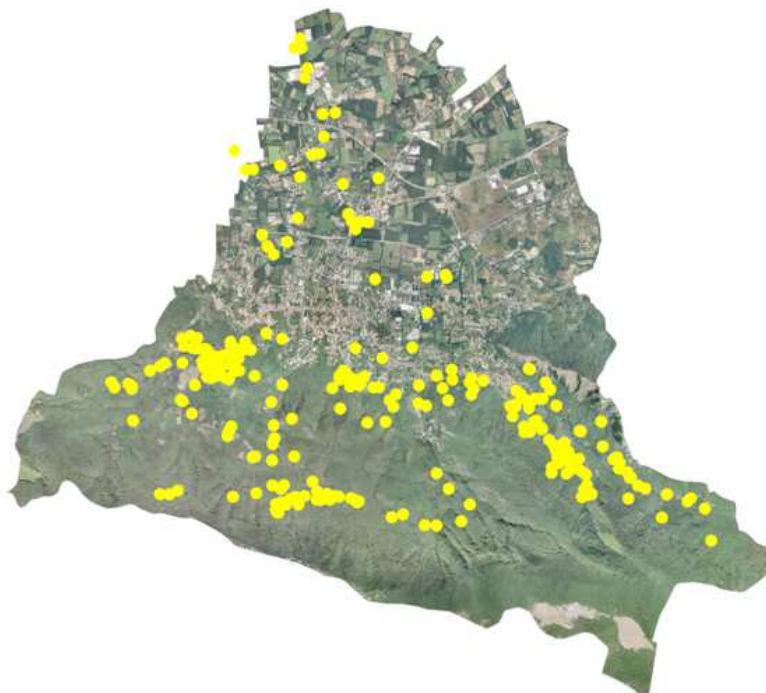


Figura 10 - Ubicazione dei rilievi georeferiti su ortofoto dell'estate 2004.

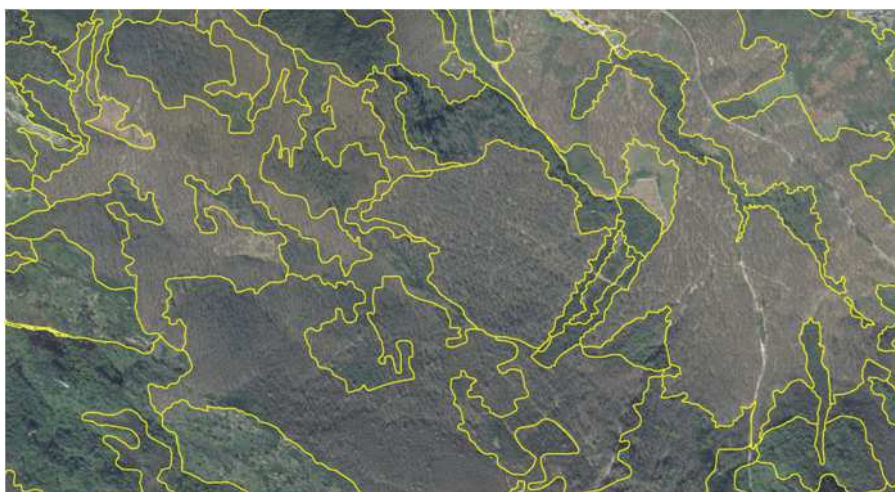


Figura 11 - Particolare della Carta (limiti su ortofoto del 2011) di un'area inglobante la frana del 1999. Scala 1:5000.

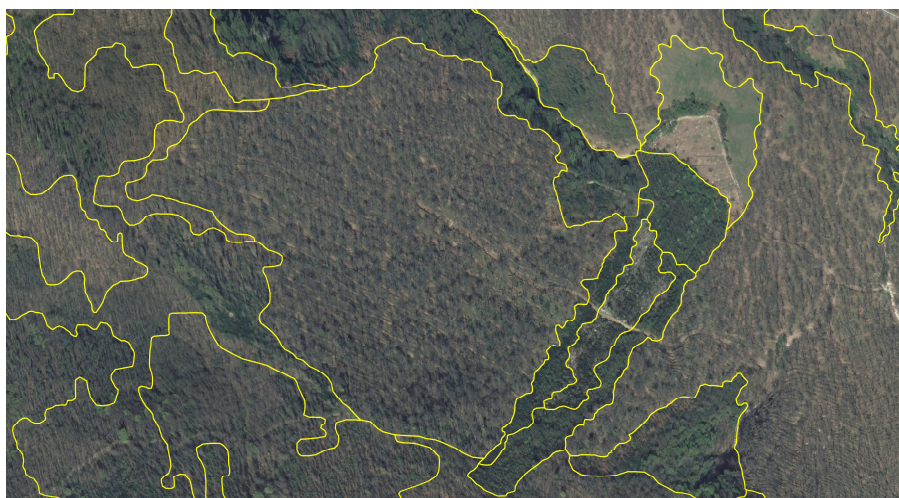


Figura 12 - Particolare della Carta (limiti su ortofoto del 2011) di un'area inglobante la frana del 1999. Scala 1:2.500.



Figura 13 - Particolare della Carta (limiti su ortofoto del 2011) di un'area inglobante la frana del 1999. Scala 1:1.000.

2.6 Legenda della Carta

Le unità cartografiche della Carta dell'uso del suolo sono state classificate in accordo con la legenda *Corine Land Cover*, fino al quarto livello gerarchico, in piccola parte modificata. La legenda è stata quindi semplificata (Box 1), per una più facile lettura.

Box 1 – Legenda semplificata

Ambiente urbanizzato e superfici artificiali

Insedimenti residenziali, produttivi, dei servizi pubblici e privati, cantieri, discariche, terreni artefatti e abbandonati

Superfici agricole utilizzate

- Seminativi in aree non irrigue

- Vigneti
- Frutteti e frutti minori
- Oliveti
- Colture arboree

Pioppeti

Latifoglie nobili (noceti)

- Zone agricole eterogenee

Colture temporanee associate a colture permanenti

Sistemi colturali e particellari complessi

Aree occupate da colture agrarie con spazi naturali importanti

- Serre

Superfici agricole non utilizzate

Territori boscati e ambienti seminaturali

- Boschi di latifoglie

Boschi di latifoglie**

Boschi misti a prevalenza di latifoglie mesofile e mesotermo file

Boschi a prevalenza di castagno – (castagneti governati a ceduo)

Boschi a prevalenza di castagno – (castagneti governati a fustaia)

Boschi a prevalenza di faggio

Boschi a prevalenza di faggio e castagno

Boschi a prevalenza di specie igrofile

Boschi e piantagioni a prevalenza di latifoglie non native

- Boschi di conifere

Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea

- Aree a pascolo naturale e praterie
- Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione

Zone aperte con vegetazione rada o assente

- Aree con vegetazione rada (pareti rocciose)
- Aree con vegetazione rada (alvei fluviali a carattere torrentizio)

In ogni caso, la tabella associata allo shape-file della Carta riporta sia la legenda originale sia quella semplificata, oltre alle note, di cui si è fatto cenno in precedenza.

Come si può osservare, la legenda riporta una classe indicata come “Boschi di latifoglie”, genericamente definita, utilizzata per identificare alcune unità territoriali per le quali, a causa dell’inaccessibilità dei luoghi, non è stato possibile stabilire la specifica tipologia di latifoglie.

3. OSSERVAZIONI SUI SUOLI

Nel corso dei diversi rilevamenti di campo, sono state realizzate importanti osservazioni sui suoli (Fig. 14), con particolare attenzione a quelli più rappresentativi del territorio montano. In totale, sono stati osservati e in parte descritti 34 suoli. La maggior parte delle osservazioni ha riguardato i suoli sotto castagneti, cedui e a fustaia, e sotto boschi di latifoglie mesofile e mesotermofile, considerata la dominanza di queste due tipologie d'uso sul territorio montano di Cervinara.



Figura 14 - Momenti del rilevamento pedologico.

Dalle osservazioni realizzate è emerso che sotto castagneto prevalgono suoli da moderatamente profondi a profondi (Fig. 15) talvolta molto profondi (Fig. 16) risultanti da diversi cicli pedogenetici sovrapposti e interrotti dall'arrivo di depositi piroclastici da caduta (orizzonti C generalmente pomicei), provenienti dalle diverse eruzioni del Vesuvio e dei Campi Flegrei. Come evidenziato da Buondonno *et al.* (1993) e da Terribile *et al.* (2000) in studi di pedo-ambienti comparabili con quelli in esame, nelle condizioni geomorfologiche più stabili, all'interno del profilo, ogni ciclo pedogenetico è individuabile da una sequenza di orizzonti A, B (*solum*) e C (Fig. 17).

In condizioni geomorfologiche meno stabili, questa sequenza ideale è spesso obliterata dai marcati processi di erosione e di deposizione che hanno agito nel tempo sui suoli. Ciò spiega l'assenza di un orizzonte A in molti suoli sepolti (Fig. 17) e la marcata variabilità morfologica che talvolta può essere osservata tra profili di suolo distanti tra loro solo alcune decine di metri.

I suoli rilevati sotto castagneto sono sempre degli Andosuoli, moderatamente ripidi a molto ripidi, spesso su ciglionamenti antropici, a tessitura moderatamente grossolana, con buona disponibilità di ossigeno. In accordo con di Gennaro (2002) e con riferimento alla *World Reference Base (WRB)* della FAO (2006), questi suoli potrebbero essere classificati come *Molli-Vitric Andosols*. Una classificazione precisa non è tuttavia possibile in assenza di dettagliate analisi chimiche, fisiche e mineralogiche, non previste per il presente lavoro.

Gli Andosuoli (*Andosols*) (dal giapponese *an*, scuro e *do*, suolo) sono suoli originati prevalentemente da eiezioni vulcaniche (ceneri, tufi, pomici), contenenti elevate quantità di vetro finemente suddiviso, molto alterabile. La rapida alterazione dei vetri vulcanici produce minerali silicati amorfi o poco cristallizzati, quali allofane e imogolite e un ossi-drossido di ferro (la ferridrite) (Brady e Weil, 2002). L'allofane è presente soprattutto negli orizzonti B o in strati di sedimenti piroclastici sottostanti il profilo del suolo. La sintesi di allofane è inibita da condizioni d'intenso dilavamento, in quanto la silice è allontanata rapidamente dal suolo e le soluzioni sono molto diluite. Anche la presenza di sostanza organica inibisce la formazione di allofane, forse perché anch'essa complessata dall'alluminio che si libera dall'alterazione dei sedimenti. Analogamente, la formazione di imogolite è rallentata da ambienti ricchi di *humus*.

I *molli-vitric Andosols* sono suoli che presentano: a) un orizzonte superficiale (*epipedon*) mollico (dal latino *mollis*, soffice), ben strutturato, di colore scuro, con un'elevata saturazione in basi e con contenuto da moderato ad elevato di sostanza organica e b) proprietà vitriche (dal latino *vitrum*, vetro), consistenti nella presenza di strati con vetro vulcanico e altri minerali primari derivati dalle eiezioni vulcaniche e che contengono una quantità limitata di minerali a basso ordine cristallino.

Gli Andosuoli sono normalmente caratterizzati da un'elevata capacità di ritenzione idrica alla saturazione (Fig. 18) [anche se, a causa dell'elevata percentuale di materiali grossolani, nei *Vitric Andosols* essa è inferiore, rispetto agli altri Andisuoli (Sanesi, 2000)], che appesantisce notevolmente la copertura pedologica durante i periodi di elevata piovosità, contribuendo enormemente nel bilancio delle forze statiche che mantengono il *pedon* in condizioni di stabilità su pendenze elevate (Terribile *et al.*, 2000).

Gli Andosuoli sono altresì caratterizzati da un'elevata conducibilità idraulica alla saturazione (K_s), particolarmente rilevante nei *Vitric Andosols*, sempre a causa dell'elevata percentuale della frazione tessiturale più grossolana. In ogni caso, la K_s , pur essendo elevata in tutti gli orizzonti, è generalmente differente tra un orizzonte e l'altro, soprattutto tra gli orizzonti dei suoli più superficiali e quelli dei suoli sepolti, così come evidenziato da Terribile *et al.* (2000) in uno studio sugli Andisuoli delle aree di crisi di Quindì e Sarno. Secondo i predetti autori, in certe condizioni d'intensità di pioggia non è possibile escludere che questa differenza di conducibilità idraulica possa avere una certa influenza sulla sensibilità degli ecosistemi agli inneschi di frana.

Altra proprietà degli Andisuoli, senza dubbio tra le più rilevanti nel determinare un evento franoso, è la tixotropia (Terribile *et al.*, 2000), una caratteristica tipica dei suoli "collassabili", in cui la massa del suolo allo stato bagnato passa improvvisamente allo stato liquido quando sottoposta a vibrazioni. In pratica, in seguito al distacco di una prima massa di suolo da una nicchia di frana, l'impatto della massa con i suoli sottostanti genera sollecitazioni meccaniche in grado d'indurre il repentino rilascio dell'acqua intrappolata (proprietà tixotropica dei suoli). L'acqua così liberata concorre a favorire il processo di liquefazione dei suoli, innescando con un meccanismo a catena le fasi successive dell'evento.



Figura 15 - Suoli profondi sotto castagneto.



Figura 16 - Suolo molto profondo sotto castagneto, con particolare della parte superficiale della coltre pedologica (suolo più recente su pomici di Avellino).

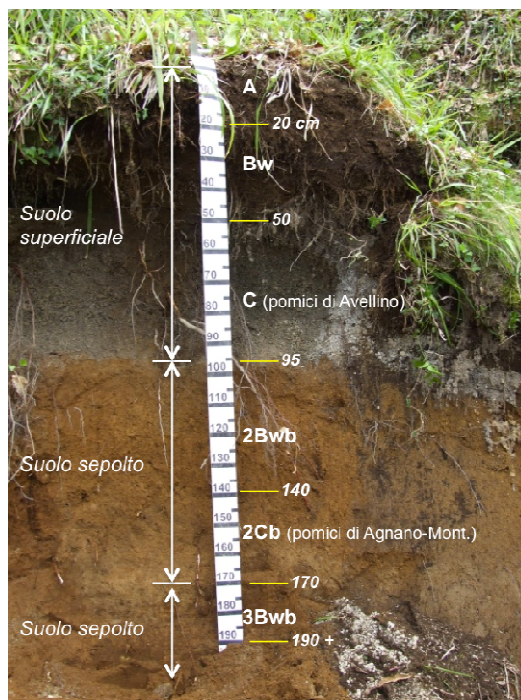


Figura 17 - Tipo profilo pedologico complesso di un Andosuolo sotto castagneto ceduo. È evidente la sovrapposizione di un suolo più recente, originato da pomici di Avellino, su due suoli sepolti, originati da pomici di Agnano-Montespina e (probabilmente) da ceneri prodotte dall'eruzione di Mercato San Severino.



Figura 18 - Andosuoli sotto castagneti, fortemente imbibiti di acqua lungo tutto il profilo osservabile, dopo periodi di pioggia relativamente brevi e relativamente intensi di piogge (inizi primavera 2012).

Come detto in precedenza, gli Andosuoli dei castagneti della parte montana del comune di Cervinara presentano una forte anisotropia verticale e laterale, che può rappresentare fattore importante d'innesco delle frane (Terribile *et al.*, 2000). I contatti, lungo il profilo, tra orizzonti aventi caratteristiche morfologiche e fisiche contrastanti (es., contatto tra un suolo sepolto e un orizzonte pomiceo sovrastante), rappresentano piani di minore resistenza all'interno della copertura pedologica, sovente localizzati al disotto dell'ordinaria profondità delle radici (Fig. 19) .



Figura 19 - Contatto tra suolo superficiale e suolo sepolto al disotto della profondità delle radici.

Analogamente, la bassa continuità laterale (anisotropia laterale) di orizzonti con caratteristiche morfologiche e fisiche contrastanti può rappresentare una soluzione di continuità, con conseguente indebolimento delle proprietà meccaniche di coesione della copertura pedologica.

Infine, la propensione degli Andosuoli a franare è favorita da situazione in cui la continuità della copertura pedologica risulti interrotta da tagli artificiali (strade) (Fig. 20) o da soluzioni di continuità naturali (scarpate calcaree) (Terribile *et al.*, 2000). In tali situazioni, l'imbibizione dei suoli a seguito di eventi piovosi prolungati ed il relativo appesantimento (che può raggiungere fino al 100% del suo peso), accentuano situazioni di squilibrio nei corpi di suolo a monte dei tagli. In tali situazioni aumenta la possibilità di slittamento verso il basso dei corpi di suolo a monte dei tagli, anche di dimensioni limitate, lungo i piani di minore resistenza localizzati solitamente in corrispondenza del contatto tra orizzonti a caratteristiche contrastanti (es., un orizzonte pomiceo ed un orizzonte allofanico) o in corrispondenza del contatto tra suoli vulcanici e roccia calcarea.



Figura 20 - Taglio di strada in un castagneto da frutto, governato a fustaia, in un'area di versante non distante dalla frana del 1999.

I boschi di latifoglie mesofile e mesotermofile sono associati, in generale, a suoli meno profondi, rispetto ai suoli sotto castagneto, talvolta pietrosi e rocciosi, su depositi da caduta di materiali vulcanici ricoprenti la roccia calcarea. Sono, in genere, suoli a tessitura moderatamente grossolana, con buona disponibilità di ossigeno, classificabili, con ogni probabilità come *Molli-Vitric Andosols (Epileptic)* e (*Endoleptic*). Il significato di Mollic, Vitric e Andosols è stato descritto in precedenza. I suffissi “Epileptic” ed “Endoleptic” indicano che la roccia calcarea continua, su cui poggia il suolo, si trova ad una profondità massima di 50 cm (Epileptic) o ad una profondità compresa tra 50 e 100 cm (Endoleptic).



Figura 21 - Molli-vitric Andosol (Endoleptic) sotto bosco di latifoglie mesofile e mesotermofile (a sinistra) e sotto bosco di latifoglie mesofile e mesotermofile con inclusioni di querce e castagni (a destra)

Andosuoli superficiali e moderatamente profondi si rinvennero anche sotto castagneto, nelle aree di affioramento dei calcari (Fig. 22).

In conclusione, occorre fare qualche riflessione sui suoli delle aree sommitali e dei versanti d’alta montagna sotto faggeta. A causa della difficoltà di accesso ai luoghi, questi suoli sono stati osservati soltanto alle quote più basse della faggeta, a contatto con il castagneto, su versanti ripidi a molto ripidi. Le caratteristiche evidenziate sono state quelle tipiche dei *Molli-Vitric Andosols* già precedentemente descritte. Mancano, invece, osservazioni sui suoli più a monte, su versanti dolcemente inclinati, su cui insiste la faggeta montana, pura, sviluppata. Di Gennaro (2002) associa questa tipologia di bosco a suoli da dolcemente inclinati a moderatamente ripidi, molto profondi, su depositi vulcanici da caduca, con orizzonti superficiali molto spessi, a tessitura moderatamente grossolana, con buona disponibilità d’ossigeno (*Pachi-Vitric Andosols*) e a suoli moderatamente ripidi a molto ripidi, profondi a molto profondi, su depositi vulcanici da caduta, a tessitura media, con buona disponibilità d’ossigeno (*Molli-Eutrisilic Andosols*). I termini “Pachic” e “Eutrisilic” indicano, rispettivamente, la presenza di un orizzonte mollico molto spesso (> 50 cm) e la presenza di uno o più livelli, spessi, cumulativamente, 30 cm o più, con proprietà andiche (bassa densità apparente, elevata ritenzione in fosforo, elevato contenuto di colloidali a basso ordine cristallino) e una somma di basi scambiabili di 15 cmol /kg o più nella terra fine, nei primi 100 cm di suoli dalla superficie.



Figura 22 - Andosuolo superficiale su calcare, sotto castagneto ceduo.

3.1 Relazioni tra uso del suolo e spessore delle coperture

Le osservazioni pedologiche precedentemente descritte, anche se rilevanti per la comprensione delle relazioni tra uso del suolo e tipologia di suolo, necessitano di approfondimenti. Tale lavoro richiede tempi relativamente lunghi e costi non trascurabili per l'identificazione dei siti di rilevamento, lo scavo dei profili pedologici (particolarmente complicati nelle aree più accidentali e impervie), la loro descrizione di campo, l'analisi chimica, fisica e (soprattutto) idrologica degli orizzonti pedogenetici.

In attesa di futuri approfondimenti, indicazioni generali sulla distribuzione spaziale dello spessore dei suoli e della loro variabilità spaziale, in relazione alle diverse unità d'uso del suolo, possono essere desunte dalla "Carta dello spessore delle coperture", prodotta per gli scopi del presente progetto dal "gruppo geologico" (Di Nocera, Aucelli, Matano, Ravera, Amato). In accordo con quanto sostenuto (comunicazione personale) dal predetto "gruppo", le coperture cartografate possono essere ragionevolmente assimilate a successioni di suoli originati dai materiali vulcanici provenienti dalle diverse eruzioni del Vesuvio e dei Campi Flegrei.

Ammessa tale ipotesi, la Carta delle coperture è stata intersecata, in ambiente GIS, con la Carta dell'uso del suolo per produrre una "Carta dell'uso del suolo e dello spessore coperture" nella quale ciascuna unità d'uso risulta suddivisa in sub-unità di spessore delle coperture. Il lavoro è stato realizzato per la sola area montana del Comune di Cervinara, per la quale erano disponibili le informazioni riguardanti lo spessore delle coperture. La Carta dell'uso del suolo e dello spessore coperture, restituita in formato shape-file, è di difficile rappresentazione grafica (4383 poligoni), data la molteplicità delle suddivisioni per unità di superficie. Per ovviare a tale inconveniente sono state prodotte carte parziali (Allegato A, Tavole 5 ÷ 9) che mostrano la suddivisione delle principali tipologie d'uso del suolo in sub-unità di spessore delle coperture.

La figura 23, prodotta dalla elaborazione dei dati contenuti nelle tabelle associate agli shape-file delle predette Carte parziali, evidenzia che, in buon accordo con quanto discusso precedentemente sui suoli: a) sotto castagneto ceduo prevalgono coltri di spessore variabile da 0.5 (S1) a 3.0 m (S5). Non trascurabile è, tuttavia, la presenza di coltri più spesse (S6, 3-5 m); b) sotto castagneto a fustaia si osserva la prevalenza delle coltri di maggiore spessore, compreso tra 1.0 (S3) e 3.0 m (S5); c) anche sotto faggeta prevalgono coltri di spessore

compreso tra 1.0 (S3) e 3.0 m (S5); d) nelle aree coperte da boschi misti di castagno e faggio (zone di transizione dal castagneto alla faggeta) prevalgono nettamente le coltri di spessore compreso tra 1.0 e 1.5 m (S3); e) sotto boschi di latifoglie mesofile e mesotermo file dominano, invece, coltri di spessore più ridotto, variabile tra 0.1 e 1.5 m, tuttavia con una netta prevalenza delle classi S2 (0.5-1.0 m) e S3 (1.0-1.5 m).

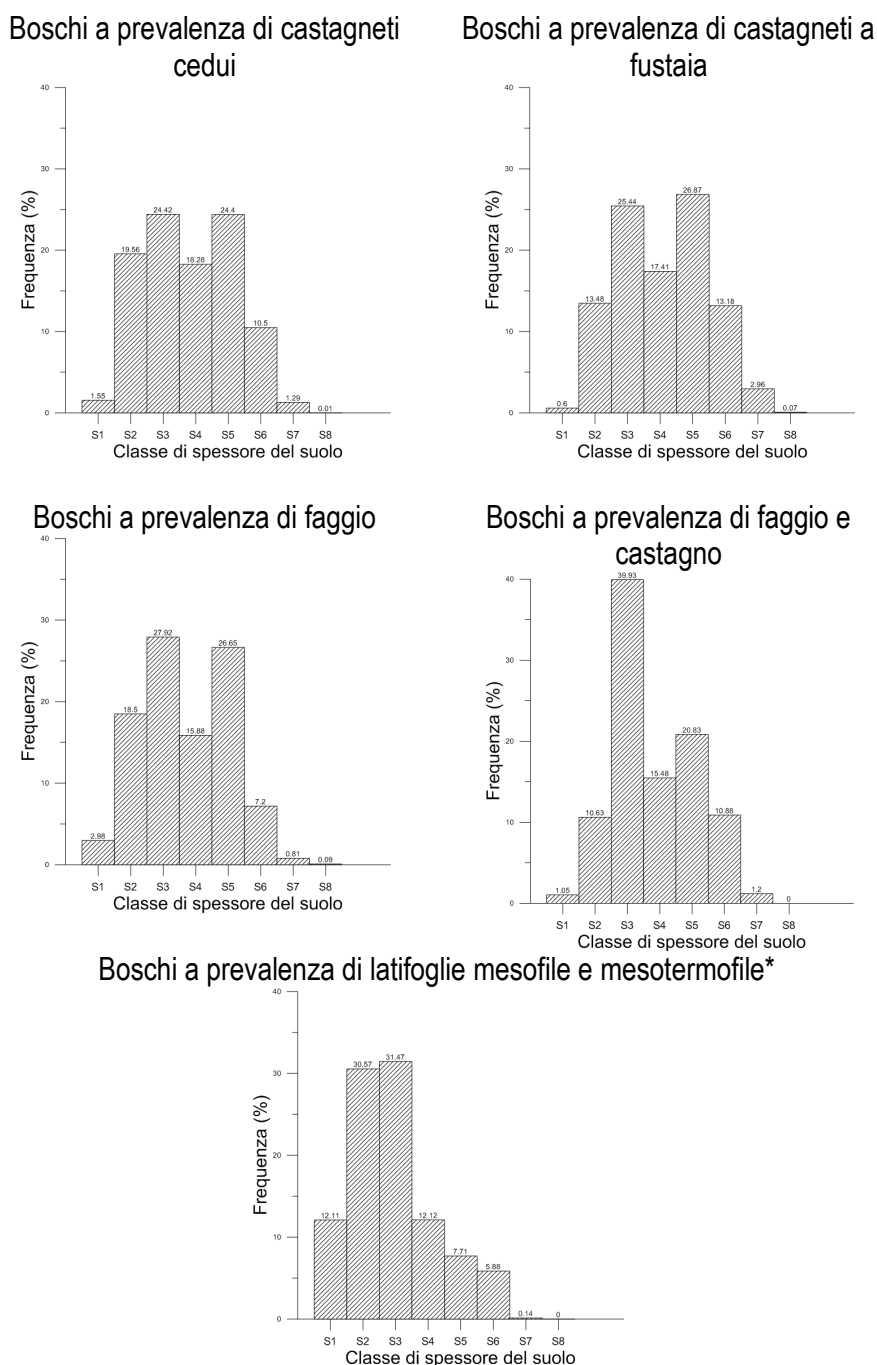


Figura 23 - Distribuzione di frequenza dello spessore delle coperture per singole unità d'uso del suolo. Classi di spessore (m): S1 = 0.1-0.5; S2 = 0.5-1.0; S3 = 1-1.5; S4 = 1.5-2; S5 = 2-3; S6 = 3-5; S7 = 5-6; S8 = 6-7.

3.2 Relazioni tra uso del suolo e frane

Lo Carta dell'uso del suolo è stata "incrociata" con la Carta delle frane prodotta dal "gruppo geologico". Ciò ha permesso di valutare l'incidenza di queste ultime, in particolare delle aree di distacco (nicchie di frana attive e quiescenti), per ciascuna unità d'uso del suolo.

L'incidenza numerica delle nicchie di frana sulle diverse unità d'uso del suolo è stata valutata considerando i centroidi delle predette nicchie. I risultati ottenuti hanno evidenziato che, in termini assoluti (Fig. 24.a), il maggior numero di nicchie ricade nei castagneti cedui, nei boschi di latifoglie, nelle faggete, nei boschi misti di faggio e castagno, nei castagneti a fustaia. Questo numero è tuttavia linearmente correlato (dato non mostrato) all'estensione areale di ciascuna unità d'uso del suolo.

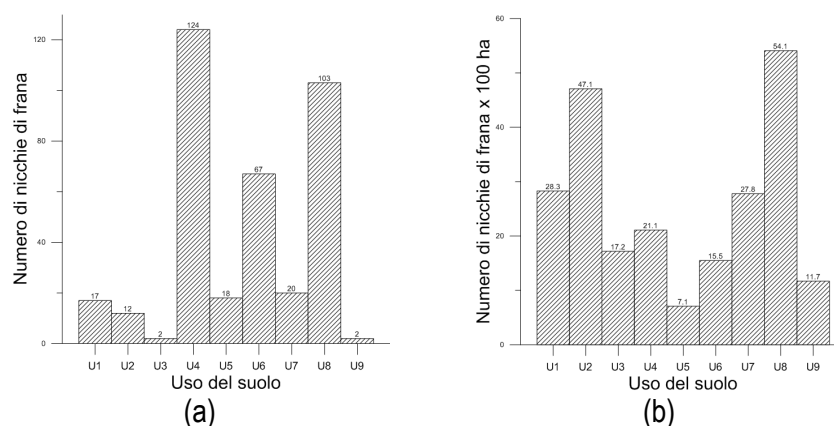


Figura 24 - Distribuzione del numero di frane per unità d'uso del suolo in valore assoluto (a) e per 100 ha di superficie dell'unità (b). Unità d'uso: U1 = aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione; U2 = aree con vegetazione rada su pareti rocciose; U3: aree occupate da colture agrarie con spazi naturali importanti; U4 = boschi a prevalenza di castagno (castagneti governati a ceduo); U5 = boschi a prevalenza di castagno (castagneti governati a fustaia); U6 = boschi a prevalenza di faggio; U7 = boschi a prevalenza di faggio e castagno; U8: boschi a prevalenza di latifoglie mesofile e mesotermo file (questa unità include anche una minima percentuale di superficie occupata da latifoglie genericamente definite, non specificamente classificate per inaccessibilità dei luoghi); U9 = Superfici agricole attualmente non utilizzate.

Se invece si considera il numero delle nicchie in rapporto all'estensione areale delle unità d'uso del suolo (Fig. 24.b), allora emerge che la tipologia d'uso con la maggiore incidenza di nicchie di frana è rappresentata dai boschi a prevalenza di latifoglie mesofile e mesotermofile (U8, 54.2 nicchie x 100 ettari di superficie) e dalle aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione (U2, 49.0). La più bassa incidenza relativa di nicchie cartografate si riscontra, invece, nei castagneti a fustaia (U5, 7.1).

Tuttavia, se distinguono le nicchie di frane attive da quelle quiescenti (Tab. 2), allora emerge che: a) le unità U2 e U8 presentano ancora la più elevata incidenza per unità di superficie di frane quiescenti; b) l'unità U2 presenta anche la più elevata incidenza di frane attive, c) le frane attive sono presenti in proporzioni significative anche nell'unità U7 (boschi di latifoglie a prevalenza di faggio).

Uso del suolo*		n. di nicchie**			n. di nicchie x 100 ha		
Unità d'uso	Estensione (ha)	a	q	a + q	a	q	a + q
U1	60.17	2	15	17	3.3	24.9	28.3
U2	25.48	3	9	12	11.8	35.3	47.1
U3	11.61	0	2	2	0.0	17.2	17.2
U4	588.13	12	112	124	2.0	19.0	21.1
U5	253.05	1	17	18	0.4	6.7	7.1
U6	433.35	9	58	67	2.1	13.4	15.5
U7	71.84	8	12	20	11.1	16.7	27.8
U8***	190.00	17	86	103	8.9	45.3	54.1
U9	17.10	0	2	2	0.0	11.7	11.7

* dalla Carta dell'uso del suolo di Cervinara, prodotta dal "gruppo agronomico" (Leone, Raimondi); ** dalla Carta delle Frane di Cervinara prodotta dal "gruppo geologico" (Di Nocera, Aucelli, Matano, Ravera, Amato); *** questa unità include anche una minima percentuale di superficie occupata da latifoglie genericamente definite, non specificamente classificate per inaccessibilità dei luoghi.

Tabella 2 - Incidenza del numero di nicchie di frana attive (a) e quiescenti (q) sulle diverse unità d'uso del suolo del territorio montano di Cervinara.

BIBLIOGRAFIA

- Baret F., Andrieu B., Guyot G., 1988.** *A simple model for leaf optical properties in visible and near infrared: application to the analysis of spectral shifts determinism.* In "Applications of chlorophyll fluorescence", H.K. Lichtenthaler (ed.), Kluwer Academic Publisher, 345-351.
- Baret F., Guyot G., 1991.** *Potential and limitations of vegetation indices for LAI and APAR assessment.* Remote Sensing of Environment, 104, 88-95.
- Brady N.C., Weil R.R., 2002.** *The nature and properties of soils.* Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, pp 960
- Buondonno C., Adamo P., Ermice A., Leone A.P., Testasecca A., 1993.** *Studio di Andosuoli in due diversi ambienti dell'Italia Meridionale.* Ann. Fac. Agr. Univ. Napoli ; XXVII: 36-48.
- Chavez P.S., Jr., 1988.** *An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data.* Remote Sensing of Environment, 24:459-479.
- di Gennaro A., 2002.** *I sistemi di terra della Campania.* SELCA, Firenze. pp 63
- European Environmental Agency, 2000.** *CORINE land cover technical guide – Addendum 2000.* Technical report n. 40, pp 105.
- FAO, 2006.** *World reference base for soil resources. A framework for international classification, correlation and communication.* World Soil Resources Reports, 103, pp 128
- Huete A.R., 1988.** *A soil-adjusted vegetation index (SAVI).* Remote Sensing of Environment, 25, 295-309.
- Jiang Z., Huete A., Didal K., Miura T., 2008.** *Development of two-band enhanced vegetation index without a blue band.* Remote Sensing of Environment, 112, 3833-3845.
- Lillesand T.M., Kiefer R.W., 1994.** *Remote sensing and image interpretation.* John Wiley & Sons, New York, pp.750,
- Qi, J. Chehbouni A., Huete A., Kerr H.Y., Sorooshian S., 1994.** *A modified soil adjusted vegetation index.* Remote Sensing of Environment, 48, 119-126.
- Regione Campania, 2009.** *CUAS, Carta dell'Utilizzazione Agricola dei Suoli*
<http://sit.regione.campania.it/portal/portal/default/Home>

- Sanesi G., 2000.** *Elementi di pedologia. I suoli, loro proprietà, gestione e relazione con l'ambiente.* Calderini.Edagricole, Bologna. pp. 390.
- Sheffield C., 1985.** *Selecting bands combinations from multispectral data.* Photogramm. Eng. And Remote Sens., 52 (1), 1669-1675
- Tanré, D.; Deroo, C., Duhaut, P., Herman, M., Morcrette, J. J.; Perbos, J.; Deschamps, P.Y., 1986.** *Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, Laboratoire d'Optique Atmospherique, Universite des Sciences et Techniques de Lille, 59655 Villeneuve D'Ascq Cedex, France/Centre Spatiale de Toulouse, 31055 Toulouse Cedex, France.*
- Terribile F., Basile A., De Mascellis R., di Gennaro A., Mele G., Vingiani S., 2000.** *I suoli delle aree in crisi di Quindici e Sarno: proprietà e comportamenti in relazione ai fenomeni franosi del 1998.* Quaderni di Geologia Applicata, 7, 59-79
- Vermote E.F., Tanré D., Deuzé J.L., Herman M., Morcrette J.J., 1997.** *Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum (6S).* Users Guide Version 2.0. Department of Geography, University of Maryland, Laboratoire d'Optique Atmosphérique, U.S.T.L., p 218
- Wilkinson G.G., 1991.** *The processing and interpretation of remotely-sensed satellite imagery – A current view.* In "Remote sensing and geographical information systems for resource management in developing countries (Alan S. Belward and Carlos R. Valenzuela, eds). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp 71-96.