

Suoli e ambienti del Parco Naturale del Mont Avic (AO) - 2: le foreste

MICHELE E. D'AMICO
coop rea srl
 Via Raiberti, 9
 I - 20052 Monza (MI)

M. E. D'Amico. **Soils and environments in Mont Avic Natural Park (Aosta, Italy): forest habitats.** *Rev. Valdôtaine Hist. Nat.*, 60: 29-52, 2006.

The forests of Mont Avic Natural Park (AO, Italy) show many peculiarities, due to the ophiolitic substrate, (serpentinite with associated mafic rocks and calcshists) and to the main tree species: subalpine level is dominated by *Pinus uncinata*, while in the mountainous level there is the northernmost beech forest in the Aosta Valley. The soils show peculiar chemical and physical properties, that are seldom related with vegetation communities.

Soils under beech (*Luzulo-Fagetum*), and on the warm slopes of the mountainous zone under *Pinus sylvestris* and *P. uncinata*, are little developed (Regosols, Cambisols, according to WRB 2006), and show some common features: pH<5.5, changeable base saturation, Ca/Mg ratio around 1, high Ni and Cr content (up to 1200 ppm), Moder humus form. On mafic rocks pH values are lower and trace metals content is less than 300 ppm. Vegetation communities are acidophilous (on serpentinite enriched with many Brassicaceae).

On the cold slopes of the subalpine level, under *P. uncinata* forest, podzolization is active on every lithology, but particularly strong on mafic rocks. Some soil properties on serpentinite are: pH<4 in surface horizons, low base status, Ni, Cr content <800 ppm, high metal mobility, Ca/Mg<1; on mafic rocks: pH<4, Ni and Cr content <250 ppm, Ca/Mg >1. Humus form (Mor) and vegetation (*Rhodoreto-Vaccinietum*) don't seem to be influenced by parent material, but *Carex fimbriata* and many Brassicaceae grow only on serpentinite.

Key words: subalpine soils, serpentinite soils, gabbro soils, *Pinus uncinata*, soil-vegetation relationships.

PREMESSA

Le aree forestali del Parco Naturale del Mont Avic presentano numerosi punti di interesse, legati alla presenza di estese formazioni di *Pinus uncinata*, raro sulle Alpi Italiane, alla faggeta più "interna" della Regione Val D'Aosta, ed al substrato ofiolitico. Le litologie affioranti nell'area di studio presentano importanti affioramenti di serpentiniti: i suoli dovrebbero, quindi, mostrare importanti caratteri di fitotossicità, grazie alle elevate concentrazioni di metalli in traccia (Ni, Cr, Co, Mn, Cu) e di Mg. La mobilità, e le conseguenti biodisponibilità e tossicità, dovrebbero aumentare negli ambienti forestali grazie all'effetto acidificante della vegetazione subalpina ad ericacee e conifere.

Il processo della podzolizzazione dovrebbe essere escluso su serpentinite (Lundström *et al.*, 2000).

Questo lavoro descrive alcune caratteristiche dei suoli dell'ambiente forestale del Parco, correlate alle tipologie forestali, alle fasce altitudinali ed ai processi morfologici attivi o relitti.

Cinquanta profili pedologici (associati a rilievi floristici) sono stati osservati nel Parco in ambiente forestale, tra il 2002 ed il 2005. I punti di campionamento sono stati scelti seguendo un metodo ragionato, cercando di coprire le diverse litologie del substrato, i vari

processi morfologici attivi o relitti, le diverse esposizioni e pendenze e le varie coperture vegetali (Tab. 9).

Sono state utilizzate le modalità di campionamento, rilevamento floristico, analisi di laboratorio ed elaborazioni statistiche descritte nella prima parte (D'Amico, 2007).

Le forme di humus sono state sempre determinate, in base alle caratteristiche morfologiche e strutturali degli orizzonti organici di superficie e di quelli organominerali o minerali immediatamente sottostanti, come prescritto dal Référentiel Pedologique (AFES, 1995).

AREA DI STUDIO

Materiale parentale

Nel Parco Naturale del Mont Avic affiorano litotipi appartenenti a due distinte unità tettoniche, il Complesso Piemontese dei Calcescisti con Pietre Verdi ed il lembo di ricoprimento del Glacier Rafray, appartenente alla Falda della Dent Blanche (Occhipinti, 1997). Quest'ultimo affiora in poche aree sommitali sopra i 2800-2900 m, ed è composto da gneiss albitici, micascisti e scisti anfibolici e granatiferi, con presenza di rocce mafiche. Il Complesso Piemontese dei Calcescisti con Pietre Verdi affiora estesamente in tutto il territorio del Parco: nel bacino del Chalamy le serpentiniti sono dominanti, accompagnate da metagabbri, anfiboliti, anfiboliti a granato. Nella Valle di Champorcher queste litologie ultramafiche e mafiche sono accompagnate da estesi affioramenti di calcescisto.

Il materiale parentale dei suoli è normalmente costituito da materiale detritico originato dall'attività dei versanti e dei ghiacciai pleistocenici che ricoprivano gran parte dell'area di studio, lasciando depositi morenici dallo spessore variabile tra le centinaia di metri della bassa valle del Chalamy, e i pochi decimetri di alcune aree a quota più elevata. La composizione litologica di questo materiale sciolto è variabile in relazione a quella del bacino di alimentazione dei diversi settori del ghiacciaio. Le litologie acide del lembo di ricoprimenti Glacier-Rafray ed il calcescisto sono rilevabili in quantità significative esclusivamente nel materiale morenico presente sotto limitate porzioni forestali della Valle di Champorcher.

Il clima

L'area di studio è situata al confine tra la regione climatica continentale endoalpina, arida, che caratterizza la Val d'Aosta a monte della strettoia di Montjovet, e la parte più umida, ad influenza prealpina, soggetta alle correnti di provenienza padana, presente nella parte più meridionale della regione. La valle di Champorcher presenta la piovosità media annua massima della Regione Val d'Aosta (1180 mm annui rilevati a Pont Boset, Mercalli, 2003), le precipitazioni decrescono verso nord e verso ovest: ad esempio, la stazione di Praz Oursie, sul versante sinistro della Val Chalamy a 1800 m circa di quota, rileva una piovosità media inferiore agli 800 mm annui. Le precipitazioni sono concentrate in autunno e primavera, con un minimo assoluto invernale ed uno relativo estivo. Anche i settori più asciutti della foresta di Pino silvestre della Val Chalamy, però, non sono normalmente soggetti a periodi di carenza idrica estiva (regime pedoclimatico udico, Soil Survey Staff, 2003; D'Amico, 2003). Dal momento che l'evapotraspirazione diminuisce con la quota insieme alle temperature, mentre le precipitazioni aumentano, ci si può ragionevolmente aspettare che anche i suoli delle quote più alte non abbiano deficit idrico in anni normali (Fig. 1).

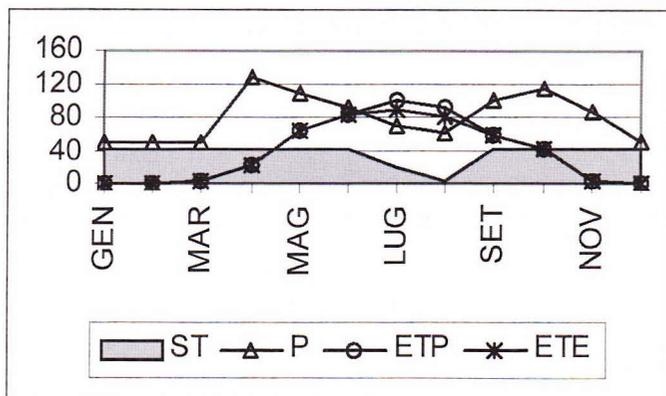


Fig. 1 – Bilancio idrico del suolo tra l'alpeggio Costaz e Treby, a 1700 metri circa di quota, esposizione sud, profilo n°60. ST = saturazione della riserva idrica, P = precipitazioni in mm, ETP = evapotraspirazione potenziale, che è maggiore dell'ETE (evapotraspirazione realizzata). Le temperature sono le medie mensili di quelle misurate negli anni 1995-2001 nella stazione di Covarey, la più simile al sito del profilo come esposizione e vegetazione.

RISULTATI

I suoli: caratteri generali e fattori della pedogenesi

Nel territorio del Parco del Mont Avic, le foreste sono diffuse prevalentemente nella Valle del Chalamy, mentre nella Valle di Champorcher sono presenti solo limitati lembi nel settore più orientale. I substrati dominanti sono quindi le serpentiniti e le rocce mafiche, tra cui i metagabbri; i calcescisti affiorano solo in un limitatissimo settore, o come incluso in tracce nel materiale morenico del ghiacciaio principale nella Valle di Champorcher.

L'elaborazione dei dati ha permesso, di identificare 6 grandi gruppi tassonomici (WRB, FAO-ISRIC, 1998): Podzols, "Spodic Cambisols", Cambisols, Umbrisols, Regosols e Leptosols (Tab. 1). La tipologia "Spodic Cambisol" è stata introdotta, anche se non prevista dalla WRB, a causa dei caratteri di spodicità associati ad insufficienti valori dei parametri analitici richiesti.

Podzols e "Spodic Cambisol" sono suoli tipici di ambienti "boreali", sotto foresta di conifere ed ericacee, caratterizzati da una migrazione di ossidi ed idrossidi di ferro ed alluminio complessati da composti umici solubili (cheluviazione). La morfologia evidenzia questi movimenti: la sequenza di orizzonti (Fig. 2) è tipicamente composta da uno

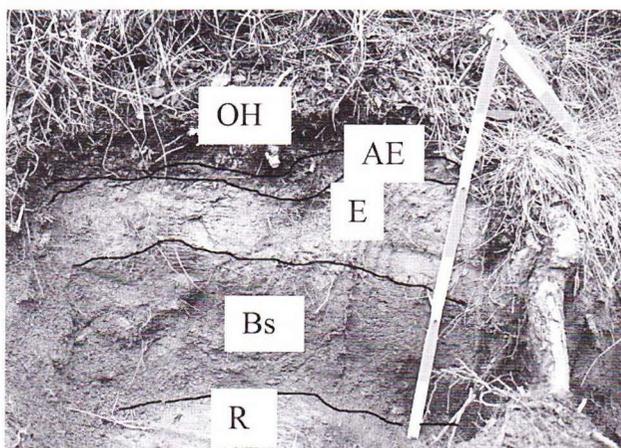


Fig. 2 – Schema di Haplic Podzol.

spesso strato organico a vario grado di decomposizione (OL, OF, OH), un orizzonte A non strutturato, talvolta assente o sostituito da un orizzonte AE lisciviato, un orizzonte sbiancato E (impoverito in ferro, alluminio, altri metalli e sostanza organica), orizzonti Bs arrossati (arricchiti in Fe, Al e sostanza organica illuviali).

Nel *Référentiel Pédologique* corrispondono ai PODZOSOLS ocrici (se l'orizzonte Bs non è sufficientemente arrossato), PODZOSOLS sciolti, o PODZOSOLS durici (se l'orizzonte Bs presenta porzioni cementate dagli ossidi di Fe, Al e Si illuviali).

L'humus normalmente è di tipo Mor (estremamente acido ed inattivo, non presenta orizzonti organominerali A se non di insolubilizzazione, presente in suoli dove è attiva la podzolizzazione) o Moder (molto acido, poco attivo, presenta un orizzonte A di giustapposizione).

Talvolta processi di ringiovanimento dovuti ad erosione, calpestio, lavorazioni, o fattori pedo-ambientali non ottimali portano ad avere un'imperfetta sequenza di orizzonti (ad esempio, l'orizzonte E potrebbe mancare): in questo caso i suoli sono classificati come Entic Podzols (PODZOSOLS ocrici secondo il *Référentiel Pédologique*). Se il processo di traslocazione dei suddetti composti non raggiunge valori analitici sufficientemente elevati, si è introdotta la tipologia degli Spodic Cambisols, non prevista dal sistema tassonomico WRB (1998). Secondo il *Référentiel Pédologique* questi sono PODZOSOLS ocrici o intergradi tra PODZOSOLS ed ALOCRISOLS.

L'alterazione chimica e l'acidificazione intensa, determinate dalle condizioni microclimatiche e dalla copertura vegetale a conifere ed ericacee, sono i fattori che influenzano maggiormente la pedogenesi negli ambienti forestali; la crioturbazione diventa moderatamente importante solo in prossimità del limite altitudinale superiore, sotto foresta rada subalpina superiore ed arbusteto.

L'umidità e l'innevamento invernale favoriscono l'alterazione e l'acidificazione: per questo motivo i versanti su esposizioni meridionali, soggetti ad una maggiore evapotraspirazione, supportano suoli dall'evoluzione generalmente meno avanzata e con caratteristiche chimiche più simili a quelle del materiale parentale. Lo stesso discorso vale per le diverse fasce altitudinali: passando dal piano montano al subalpino superiore i suoli passano da stadi evolutivi medi o bassi (Regosols o Cambisols secondo il WRB, 1998) a medi o alti (Cambisols o Podzols), caratterizzati da un'alterazione chimica e fisica molto intensa, ed una importante suddivisione in orizzonti diversi.

L'apporto di acidi organici provenienti dalla vegetazione acidificante favorisce l'alterazione del materiale che costituisce i suoli, facilitando la liberazione di cationi e metalli che vengono solubilizzati o complessati e trasportati in profondità come complessi organometallici. La podzolizzazione è attiva negli ambienti forestali dell'area di studio, soprattutto su versanti esposti a nord e, nell'orizzonte subalpino superiore, anche su esposizioni meridionali.

I substrati ultramafici dovrebbero escluderne l'attività, che però è stato rilevato anche nei suoli sviluppati su serpentinite pura. L'insufficiente contenuto in Al nel reticolo cristallino dei minerali ultramafici spesso non consente l'attribuzione al Grande Gruppo dei Podzols (WRB, 1998). Al piano montano sono state rilevate solo sporadicamente evidenze di podzolizzazione, ma l'acidificazione è intensa sia sotto pino silvestre che sotto faggio.

I suoli di ambiente forestale presentano caratteri chimici piuttosto diversificati, ma con numerosi punti di somiglianza: il pH è sempre da acido ad estremamente acido, su tutti i substrati, il rapporto Ca/Mg è spesso prossimo o inferiore all'unità, il contenuto in metalli pesanti è variabile, ma sempre abbondantemente superiore a quello riscontrato in ambiente alpino su diverse litologie.

Analizzando statisticamente la correlazione tra alcuni parametri ambientali ed analitici emergono alcuni interessanti rapporti, molto diversi rispetto a quelli rilevati nell'orizzonte alpino.

In Tab. 1 vengono evidenziati alcuni rapporti tra diversi parametri dei suoli, tra cui:

- Ni e Cr risultano mostrano correlazione diretta tra loro ed inversa, molto debole con il Cu.
- Ni negativamente e significativamente correlato al substrato (su serpentinite, indicizzata da valori bassi di substrato, corrisponde un elevato tenore in Ni).
- Il contenuto in Cu è debolmente correlato al Ca e non correlato con il Mg.
- Ni e Ca/Mg sono inversamente proporzionali (significatività bassa), grazie al forte legame tra Ni e substrati ultramafici, contrapposti ai suoli ricchi in Ca e poveri in Ni su litologie mafiche.
- Ca/Mg e substrato sono positivamente correlati (significatività media).
- Il contenuto in Ca e quello in Ni e Cr presentano una correlazione inversa ma bassa, forse a causa della variabilità causata dalla intensa lisciviazione del calcio rispetto ai metalli in traccia;
- Relazione positiva tra Ca e pH (significatività media): a pH bassi viene facilitata la lisciviazione del Ca;
- La relazione tra TSB e substrato è negativa e poco significativa, in accordo con quanto mostrato da Verger et al. (1993);
- Correlazione negativa significativa tra frazione sabbiosa e frazione limosa, in quanto il limo è in relazione con la serpentinite e la sabbia con le rocce mafiche.

	pH	quota	Ca/Mg	Ni	substr	dren	Ca	Mg	S	L	A	CO
pH	1,00											
quota	0,06	1,00										
Ca/Mg	0,07	0,09	1,00									
Ni	0,12	0,28	-0,26	1,00								
Substr.	-0,17	-0,11	0,39	-0,59	1,00							
Dren.	-0,25	-0,05	-0,15	-0,08	-0,08	1,00						
Ca	0,36	-0,20	0,05	-0,09	-0,01	-0,40	1,00					
Mg	0,23	0,22	-0,16	0,13	-0,21	-0,03	-0,02	1,00				
S	-0,13	-0,25	0,37	-0,40	0,55	-0,06	0,06	-0,33	1,00			
L	0,15	0,26	-0,33	0,41	-0,55	0,04	-0,03	0,32	-0,96	1,00		
A	-0,01	0,04	-0,22	0,08	-0,18	0,06	-0,11	0,09	-0,43	0,17	1,00	
CO	-0,31	0,01	-0,13	0,17	-0,07	0,03	-0,02	0,04	-0,10	0,00	0,37	1,00

Tabella 1 – Matrice delle correlazioni tra i dati analitici disponibili.

Sono poi mostrati (Fig. 3) esempi di correlazione tra substrato e varie proprietà edafiche. È evidente la maggiore variabilità di tali parametri tra i suoli su uguale materiale parentale che tra i suoli su litologie diverse. Ciò dipende dal diverso grado di evoluzione e di lisciviazione dei vari suoli; ad esempio, il pH non mostra una dipendenza dalle diverse litologie. Il Ni, invece, mantenendo un'elevata variabilità, mostra un deciso trend decrescente dalla serpentinite al gabbro.

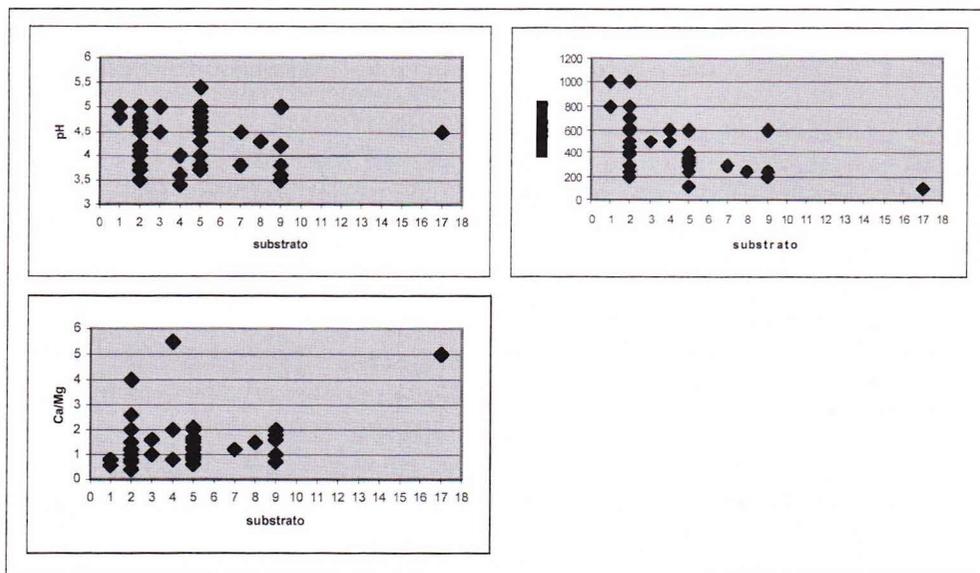


Fig. 3 – Relazioni tra substrato e pH, Nichel totale e rapporto Ca/Mg nei suoli forestali.

La variabilità del rapporto Ca/Mg, che raggiunge valori discretamente elevati anche su serpentinite, dipende dalla bioaccumulazione che interessa principalmente il Ca, a differenza del Mg che viene lisciviato in modo preferenziale ed asportato dagli orizzonti pedogenizzati (Lee *et al.*, 2001).

La vegetazione

A differenza del piano vegetazionali alpino, dove la variabilità dipendeva soprattutto da substrato e morfologia, qui dipende dalla quota e dalle condizioni microclimatiche, correlate in massima parte all'esposizione. L'effetto del substrato è limitato dall'elevata omogeneità geo-litologica degli ambienti forestali, localizzati in massima parte nella Valle del Chalamy.

La cluster analysis dei rilievi floristici ha separato 2 grandi gruppi principali, differenziati soprattutto in base alla quota, che influenza la composizione floristica degli ambienti forestali in modo più decisivo rispetto alla litologia del substrato (Fig. 4).

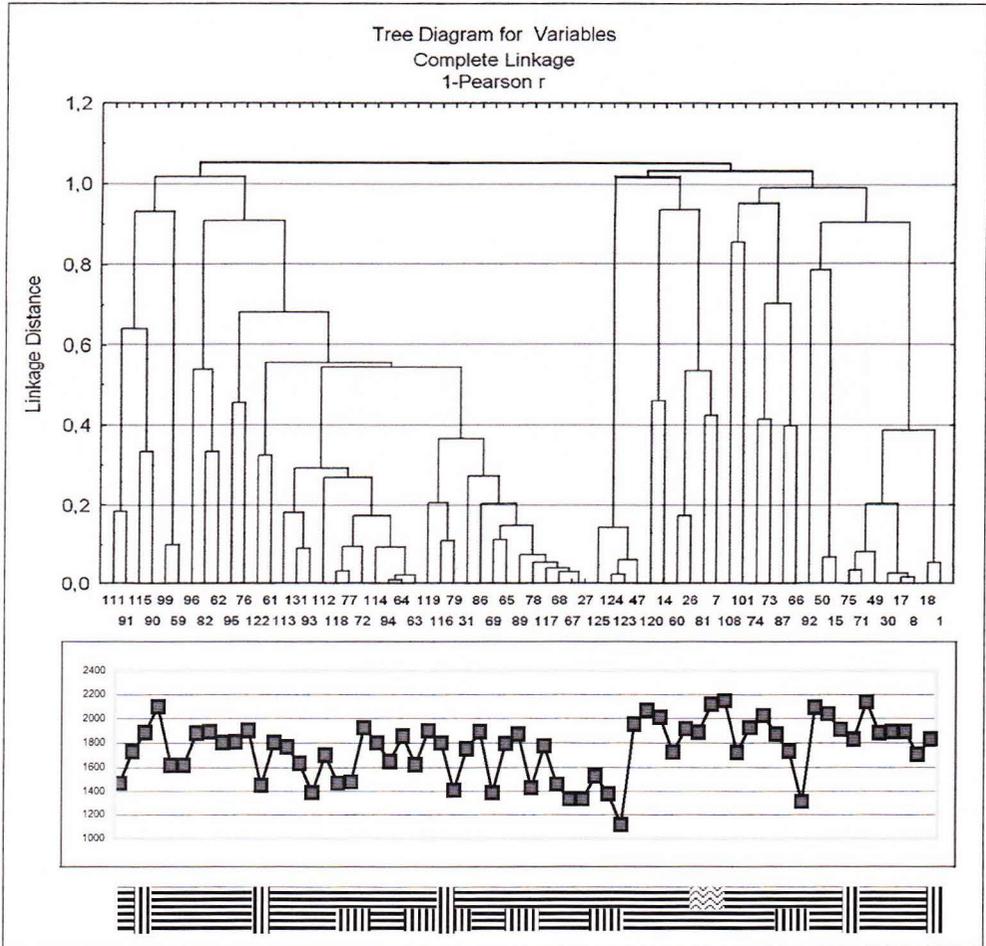


Fig. 4 – Grafico della Cluster Analysis dei rilievi floristici negli ambienti forestali; sono associate le litologie principali di substrato e le quote dei profili. In caso di colori sovrapposti si intende la presenza di materiale morenico misto.

Le suddivisioni di ordine inferiore sono in grado di identificare alcune tipologie vegetazionali ben definite, insieme ad alcuni processi pedogenetici, ad esempio:

- la faggeta è rappresentata dai rilievi 123, 124, 125, associati strettamente al 47 (piano altitudinale montano o subalpino inferiore);
- la pineta di pino uncinato con presenza della calcofila *Erica carnea* è rappresentata dai rilievi 27, 67, 68, 117, associati a 78, 89 (boschi di pino uncinato del piano subalpino inferiore, su ambedue i versanti);
- i boschi di Pino silvestre sono rappresentati dal cluster formato da 59 e 99; gli altri (60 e 61) sono separati ed associati ad altre tipologie forestali montane;

- 7, 81 rappresentano lariceti a quote elevate su esposizioni meridionali;
- il cluster formato dai rilievi 1, 18, 8, 17, 30, 49, 71, 75 rappresenta le foreste subalpine di Pino uncinato, su esposizioni settentrionali e su suoli podzolici.

La distribuzione ecologica delle specie rilevate segue quanto riportato in letteratura, soprattutto per quanto riguarda l'altitudine ed il drenaggio. Infatti, l'analisi CCA (dati non mostrati) riunisce le specie tipiche del piano altitudinale montano nel quadrante opposto al vettore quota, suddivise a loro volta in specie tipiche delle faggete e delle pinete xerofile di pino silvestre; sul lato opposto sono evidenti le specie alpine e subalpine superiori. *Carex fimbriata*, presente solo su serpentinite, non sembra dipendere dal contenuto in Mg o dal rapporto Ca/Mg, bensì dalla quota.

Altre specie mostrano una correlazione stretta con le caratteristiche "ostili" dei suoli su serpentinite, soprattutto al contenuto in Ni: le brassicacee iperaccumulatrici (*Thlaspi sylvium* e *T. alpestre* ssp.) e *Cerastium arvense* (in accordo con Vergnano Gambi e Gabbrielli, 1981; Gabbrielli, Pedani e Vergnano Gambi, 1987). Altre, come *Arctostaphylos uva-ursi*, sembrano influenzate principalmente dalle condizioni xeriche dei versanti meridionali (in accordo con i dati noti in letteratura).

Le faggete: i suoli e la vegetazione

Questa tipologia forestale è presente in un piccolo settore del Parco, a quote montane su esposizioni settentrionali, nel settore più orientale della Valle del Chalamy. La faggeta richiede una notevole umidità atmosferica e nell'area di studio, situata al limite tra l'"isola di aridità" endoalpina della Val d'Aosta centrale e la zona sudalpina più umida, trova le condizioni adatte al suo sviluppo solo sui versanti più freschi ed umidi esposti a nord e nord-est, sotto a 1550 metri circa. Il settore orientale del Parco Naturale del Mont Avic presenta un'alternanza di fasce parallele di diverse tipologie forestali: sui versanti meno esposti alle correnti umide, cioè su esposizioni nord-ovest e ovest, alla faggeta si sostituisce la foresta di pino silvestre misto a larice; addentrandosi nella Valle del Chalamy, questa tipologia forestale montana viene sostituita dalle pinete di Pino silvestre.

La flora è piuttosto omogenea, anche se la faggeta in questione non è pura: ad interrompere la monotonia ci sono larici, pini silvestri, abeti rossi e bianchi. Intorno alle baite abbandonate, lo strato arboreo è dominato da essenze eliofile pioniere quali betulle (*Betula pendula*), noccioli (*Corylus avellana*), pioppi tremoli (*Populus tremula*), pioppi neri (*P. nigra*).

Fitosociologicamente, i rilievi qui effettuati possono essere attribuiti all'alleanza *Abieti-fagetum*, più in particolare all'associazione moderatamente acidofila del *Luzulo-Fagetum* (Faggeta a *Luzula nivea*, Pignatti, 1998) caratterizzato dalla presenza di *Luzula sylvatica*, *Veronica urticifolia* e *Saxifraga cuneifolia*. *Oxalis acetosella* è indicatrice di elevata umidità edafica.

Dai dati emersi dallo studio dei suoli, la brunificazione sembra il processo pedologico dominante (alterazione in situ del materiale, formazione di orizzonti bruni Bw, Dystric Cambisol (WRB) e Brunisol (R.P.)); dove la pendenza aumenta si hanno suoli poco sviluppati (Regosols).

L'humus è di tipo Moder (successione di orizzonti organici OF e OH ed orizzonte A di giustapposizione, acido e desaturato).

È da notare come, nonostante le latifoglie siano note come specie che tendono ad arricchire il suolo di basi, specialmente gli orizzonti più superficiali, qui il pH (acido) tende a crescere con la profondità in modo analogo a quanto accade nei suoli sotto altre tipologie forestali (Tab. 2).

	Profili tipo	Orizz.	Colore	pH _{KCl}	TSB%	Ca/Mg	Ni, Cr, Cu	Txt	WRB (1998)	Humus
1	123, 124, 125	A	molto scuro	4,5	20	3,33	398,682,35	FS	Humi-Dystric Cambisol	Moder
		Bw1	Bruno	4	31	1,41	426,640,35	FS		
		Bw2	Bruno scuro	4,6	27	1,29	473,674,294	FS		
2	59, 60, 61, 99, 111	OL.OF.OH		4,3	95	6,12		FS	Dystric Regosol	Amphimull
		A	Nero	4,4	45	2,09	358,423,41	FS		
		CB	Bruno oliva	4,7	41	1,26	391,523,32	FS		
3	27, 67, 68, 69	OH	Nero	2,9	51				"Spodic" Regosol	Mor-Moder
		AE	Grigio-bruno	3,6	42	0,7	115, 89, 89	FS		
		CBs	Giallo oliva	4,5	41	2	329,632,55	FS		

Tabella 2 - Caratteri tipici sotto le principali tipologie forestali montane: 1 = faggeta; 2 = pineta di Pino silvestre; 3 = foresta montana di Pino uncinato.

I boschi di Pino silvestre: suoli e vegetazione

L'altra tipologia forestale del piano montano è la foresta di pino silvestre (*Pinus sylvestris*), essenza tipica di quote inferiori ai 1300-1700 metri in zone con clima continentale secco, endoalpino; è probabilmente la tipologia forestale montana più diffusa nella regione Val d'Aosta, ed è stata descritta in modo approfondito da Verger *et al.* (1993) in vallate vicine all'area di studio.

Nell'area ricoperta da pinete di Pino silvestre nella Valle del Chalamy, il substrato è composto principalmente da materiale morenico a clasti di serpentinite, e, secondariamente, di metagabbri, prasiniti ed anfiboliti; sono presenti anche estese superfici ricoperte da detrito di versante composto da serpentinite.

La pendenza è sempre superiore ai 25°, le zone con pendenze inferiori sono generalmente occupate da alpeggi. Anticamente questi piccoli appezzamenti occupavano superfici maggiori, poi ricolonizzate dalla foresta, evidenziate da muretti a secco e scalinature del versante.

I suoli mostrano alcuni caratteri tipici dei suoli su serpentinite e caratteri tipici di climi asciutti (Tab. 2):

- come rilevato altrove su substrati ultramafici nel Parco del Mont Avic, e da Verger *et al.* (1993), il rapporto Ca/Mg è superiore all'unità nell'orizzonte superficiale, più ricco in sostanza organica, e si abbassa negli orizzonti C, maggiormente influenzati dal materiale parentale.
- Basso grado evolutivo (Regosols, WRB, 1998).

- Il pH, crescente con la profondità, presenta valori mediamente superiori a quelli rilevati in altre tipologie forestali, probabilmente grazie alla moderata xericità climatica; non vengono raggiunti i valori prossimi alla neutralità misurati da Verger *et al.* (1993), tipici su ultramafiti.

L'humus è poco attivo (Moder) o a doppio funzionamento biologico (Amphimull), con una sequenza di orizzonti organici tipica degli humus acidi poco attivi (OL, OF, OH), sopra un orizzonte organominerale biostrutturato dalla pedofauna, come negli humus Mull biologicamente attivi. È possibile che la biostrutturazione dell'orizzonte A sia l'eredità di un precedente uso del suolo a prato, non in equilibrio con l'attuale vegetazione acidificante (Michalet *et al.*, 2000).

Le specie dominanti in tutti i siti rilevati sotto Pino silvestre sono acidofile od acidocline (secondo la terminologia utilizzata da Verger *et al.*, 1993), con uno scarso contingente in specie basifile (Fig. 5).

L'associazione di riferimento è il *Deschampsio-Pinetum sylvestris*, generalmente nella facies acidofila ad ericacee; ciò è in accordo con i parametri chimici edafici ma in contrasto con quanto scritto in Verger *et al.* (1993), secondo i quali questa associazione è eccezionale su serpentinite, presente solo alle quote elevate, a contatto con il piano subalpino e con umidità maggiore.



Fig. 5 – Alcune specie significative dei boschi di pino silvestre: da sinistra, *Rhododendron ferrugineum*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Juniperus communis*, *Minuartia laricifolia*, *Luzula sylvatica*, *Thymus serpyllum* aggr.

La xerofilia del versante è evidenziata dall'abbondanza di *Arctostaphylos uva-ursi* e *Minuartia laricifolia*. Dove il substrato è dominato dalla serpentinite, abbondano le brassicacee adattate ad elevati tenori in metalli (*Biscutella laevigata*) o accumulatrici (*Thlaspi sylvium* e *T. alpestre* ssp.).

I boschi di Pino uncinato: caratteri generali

Tipologia forestale più diffusa nel territorio del Parco e tipica dei piani montano superiore e subalpino, i boschi di Pino uncinato (*Pinus mugo* subsp. *uncinata*) rappresentano uno tra gli habitat più peculiari del Parco del Mont Avic, protetti dalla Comunità Europea come habitat prioritario (Direttiva Habitat, 1994).

I suoli sono sempre acidi o molto acidi, con pH degli orizzonti superficiali che scende spesso a 3 e negli orizzonti profondi C poco pedogenizzati non sale oltre 5,8.

Il contenuto in metalli pesanti (Ni e Cr) è moderatamente elevato e fortemente variabile: è compreso tra valori prossimi a 200 ppm nei suoli su metagabbro ed in quelli molto evoluti in posizioni stabili esposte a nord anche su litologie ultramafiche, e superiori a 1000 ppm in suoli sottili e poco evoluti su serpentinoscisto ed esposizioni meridionali.

	pH	quota	Ca/Mg	Ni	substr	exp	Pz	CP	C-U	Rg	dren
pH	1,00										
quota	0,06	1,00									
Ca/Mg	0,10	0,07	1,00								
Ni	0,15	0,16	- 0,33	1,00							
substr	- 0,31	- 0,04	0,16	- 0,55	1,00						
exp	0,43	0,37	0,26	0,10	- 0,05	1,00					
Pz	- 0,16	0,10	0,22	- 0,36	0,29	- 0,08	1,00				
CP	0,10	- 0,02	- 0,23	0,02	- 0,21	0,05	- 0,38	1,00			
C-U	0,16	0,00	0,05	0,05	0,07	- 0,04	- 0,41	- 0,21	1,00		
Rg.	- 0,06	- 0,11	- 0,10	0,35	- 0,23	0,08	- 0,46	- 0,24	- 0,26	1,00	
dren	- 0,12	- 0,10	- 0,21	- 0,12	- 0,09	- 0,13	0,11	- 0,23	- 0,10	0,17	1,00

Tabella 3 – Correlazioni tra i parametri ambientali e pedologici delle foreste di Pino uncinato (sono evidenziate in rosso le correlazioni significative, che hanno un p-value superiore a 0,5). Pz: Podzol; CP: Spodic Cambisol; C-U: Cambisols ed Umbrisols, Rg: Regosol.

L'analisi delle correlazioni tra alcuni parametri pedologici ed ambientali tra i profili effettuati sotto pineta di Pino uncinato (Tab. 3) ha evidenziato interessanti rapporti, anche se molti non sono significativi statisticamente (P value < 0,5):

- pH non correlato alla quota; correlato negativamente in modo significativo al substrato (valori su serpentinite moderatamente più elevati che su metagabbro ed altre rocce mafiche); pH ben correlato all'esposizione (su esposizioni meridionali a microclima xerico, le basi vengono liscivate dal suolo in modo sensibilmente inferiore, alzando il valore del pH);
- buona correlazione negativa tra substrato e contenuto in Ni (valori massimi su serpentinite);

- rapporto Ca/Mg correlato in modo significativo solo con il Ni: a tenori elevati in Ni corrispondono bassi valori di Ca/Mg (probabilmente, considerato anche il rapporto tra Ni e Regosols, a contenuti elevati in Ni corrispondono suoli poco evoluti, prevalentemente su serpentinite, con bassi rapporti Ca/Mg);
- Il drenaggio non sembra influenzare in modo significativo le altre proprietà pedologiche.

Considerando le tipologie pedologiche (classificate secondo la tassonomia WRB), le correlazioni sono indicative ma statisticamente poco significative:

- i Podzols si sviluppano più facilmente su metagabbro e rocce basiche che su serpentinite; gli “Spodic Cambisols” su serpentinite;
- Cambisols ed Umbrisols non sono correlati alla litologia del substrato;
- i Regosols sembrano diffusi in modo preferenziale su serpentinite: forse in virtù della tossicità che caratterizza la serpentinite, che limita l’attività degli organismi in grado di accelerare l’alterazione del substrato (Brooks, 1987).

La vegetazione (riunita generalmente nell’ordine *Vaccinio-Piceetalia*) si differenzia in facies più o meno xerofile, ed in facies con presenza o meno di specie serpentinicole (ad esempio, *Carex fimbriata*). Le comunità rilevate sono sempre acidofile, anche se sono spesso presenti specie basifile (ad esempio, *Tofieldia calyculata*, *Biscutella laevigata*, *Thymus serpyllum* subsp. *polytrichus*). Le specie serpentinicole sono state rinvenute solamente su suoli con materiale parentale dominato dalla serpentinite; occorre osservare che queste specie sono presenti dove la serpentinite è dominante, anche dove le caratteristiche chimiche dei suoli sono analoghe a quelle dei suoli formati su rocce mafiche, grazie ad un grado elevato di evoluzione pedogenetica (basso pH, basso contenuto in Mg, in metalli pesanti e un rapporto Ca/Mg superiore all’unità).

La Cluster Analysis (Fig. 6) delle comunità vegetali evidenzia gruppi ben differenziati, ma non strettamente correlati a particolari caratteristiche edafiche: ad esempio, i rilievi che

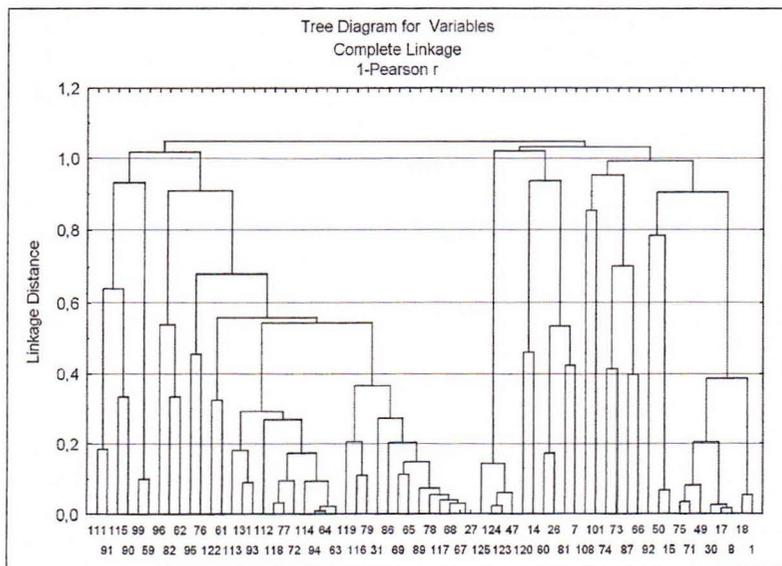


Fig. 6 - Grafico della Cluster Analysis della matrice dei rilievi vegetazionali sotto Pino uccinato.

compongono il cluster sulla destra (1, 18, 8, 17, 30, 71, 75) giacciono su suoli con substrato e contenuto in metalli pesanti diversificato.

Lo stesso risultato è evidenziato dal biplot dell'analisi CCA (non mostrata): a differenza di quanto accade nell'orizzonte alpino, dove le comunità vegetali cresciute su diverse litologie sono ben identificabili, qui non sono visibili raggruppamenti tipici di determinati substrati litologici.

Il drenaggio non è un fattore significativo nel separare le associazioni vegetali.

Non è evidente nemmeno un legame tra comunità vegetale e tipologia di suolo.

Gli ambienti della serpentinite

I suoli sulle serpentinite presentano alcune caratteristiche comuni, malgrado l'esposizione variabile (Tab. 4, 5, 6):

- pH acido od estremamente acido, anche su suoli poco evoluti, costituiti prevalentemente da serpentinite alterata;
- contenuto assoluto in basi estremamente basso;
- humus di tipo Mor (prevalente su esposizioni settentrionali) o Moder;
- contenuto in metalli pesanti elevato ma molto variabile in funzione del grado evolutivo e dell'acidità del suolo; pH bassi favoriscono la mobilizzazione e l'eliminazione dei metalli dagli orizzonti pedogenizzati;
- tessitura spesso franco-sabbiosa tendente a franco-limoso nei suoli più evoluti e stabili.

Queste caratteristiche contrastano con quanto mostrato da Verger (1990) e Verger *et al.* (1993), secondo i quali i suoli su serpentinite sotto vegetazione subalpina sono saturi e ricchi in basi di scambio (anche se superficialmente acidificati), ed i valori di pH negli orizzonti di profondità si avvicinano alla neutralità; un'altra differenza è l'elevata umidità edafica sempre riscontrata, che contrasta con la secchezza citata dai suddetti Autori.

Verger *et al.* (1993) descrivono una sequenza dai primi stadi di colonizzazione vegetale allo stadio climax, nella valle di Gressoney: i risultati da loro trovati sono molto diversi da quanto rilevato nel Parco del Mont Avic (di seguito descritti in modo sintetico).

Stadio iniziale di colonizzazione

Esempi di suoli primitivi e poco evoluti nell'area di studio, ricoperti da pineta di Pino uncinato in fase di colonizzazione (P62, P82) sono stati osservati su serpentinoscisto. I suoli sono sottili e mostrano caratteri chimici poco differenziati rispetto al materiale parentale (Tab. 4).

Le analisi degli orizzonti C o BC, composti da serpentinoscisto friabile, hanno fornito risultati molto interessanti ed inattesi per le rocce ultramafiche, tra cui il basso pH (in disaccordo con i valori medi riscontrati nella serpentinite da numerosi Autori, tra cui Brooks, 1987).

Gli orizzonti organominerali A od organici OF ed OH hanno pH decisamente bassi, ad evidenziare un'intensa acidificazione ad opera della sostanza organica prodotta dalla vegetazione subalpina; l'humus è di tipo Mor-Moder.

La vegetazione concorda con i parametri edafici, (specie acidofile); *Carex fimbriata* e le brassicaceae adattate ad alte concentrazioni in metalli pesanti ed iperaccumulatrici *Thlaspi sylvium* e *Thlaspi alpestre* ssp. evidenziano il carattere ultramafico dei suoli.

Le specie basifile o neutrofile trovate da Verger *et al.* (1993) non sono state rinvenute.

	Profili	Orizz.	Colore	pH	TSB	Ca/Mg	Humus	Ni, Cr, Cu	Txt	WRB(1998)	
1	62, 82	OH	Bruno scuro	4,1	35	3	Moder	312,373,100		Dystric Lp	
		A	Bruno scuro	5	40	1,3		1174,1000,87			FS
		C	Grigio verdastro	5,1	70	0,55		1006,1155,91			L
2	31, 47, 90	A	Bruno scuro	4,8	39	1,9		316, 574, 86	FS	Dystric Cm	
		Bw	Bruno giallastro	5,1	43	1,1		710, 987, 95			FS
		BC	Bruno	5,2	45	0,8					FS
3	89, 7	OH	Nero	4,1			Moder	275, 354, 56	FS	CP	
		Ah	Bruno scuro	4,8	43	2,1					
		Bw(s)	Bruno giallastro	5,2	52	1,6					371, 521, 86

Tabella 4 – Principali caratteri dei suoli sotto foresta di Pino uncinato a vario stadio di sviluppo, su esposizioni meridionali. 1: stadio iniziale; 2: stadio a medio sviluppo; 3: stadio evoluto. Il pH è misurato in KCl. Dystric Lp: Dystric Leptosol, suolo sottile acido; Dystric Cm: Dystric Cambisol, moderatamente evoluto ed acido; CP: Spodic Cambisol: suolo evoluto, intermedio tra Cambisol e Podzol.

Stadio a medio sviluppo

I pendii detritici parzialmente stabilizzati (P31, P47, P90) e su esposizioni meridionali, supportano suoli moderatamente evoluti (Cambisols). I siti considerati sono caratterizzati da una forte pendenza e da un intenso disturbo erosivo. Alcuni comuni caratteri pedologici sono evidenziati in Tab. 4.

L'humus è acido, di tipo Moder o Mor-Moder; l'attività dei lombricidi è inibita dall'elevata acidità, mentre sono spesso rinvenuti coproliti artropode-tipo.

Anche in questo caso la vegetazione è in accordo con i parametri edafici; le specie acidofile od acidocline sono largamente dominanti. Dove il disturbo erosivo assume un'importanza superiore (P90), compaiono alcune specie tendenzialmente basifile come *Teucrium montanum*, *Scutellaria alpina*, *Rhinanthus alectorolophus*, insieme all'iperaccumulatrice *Thlaspi sylvium*. Anche in questo caso sono presenti ericacee acidofile, a differenza da quanto mostrato da Verger (1990).

Stadio stabile ed evoluto

Su pendii a pendenza debole o moderata il disturbo erosivo diviene debole (solo alle quote più elevate vi sono evidenze di soliflusso criogenico); le esposizioni dominanti sono settentrionali, a causa della morfologia asimmetrica della Valle del Chalamy.

I suoli si evolvono in modo più spinto, e l'acidificazione operata dalla sostanza organica riesce ad attaccare in modo efficace il materiale parentale instaurando il processo della podzolizzazione.

Su esposizioni meridionali, a causa delle condizioni climatiche asciutte ed allo scarso innevamento invernale, questo processo è poco diffuso su serpentinite (P89, Spodi-Dystric Cambisol – BRUNISOL oligosaturo debolmente podzolizzato); il Fe e l'Al in ossalato evidenziano un accumulo illuviale nell'orizzonte Bw(s), ma non viene raggiunto il valore limite dell'indice spodico previsto da WRB (1998).

La vegetazione è acidofila, con presenza di specie serpentinicole quali *Carex fimbriata* o iperaccumulatrici come *Luzula lutea*. La moderata xerofilia del sito è evidenziata dall'indice medio di Landolt per l'umidità edafica, pari a 2,6 circa.

Occorre evidenziare come la podzolizzazione sia attiva soprattutto sotto alcune specie particolarmente acidificanti come *Rhododendron ferrugineum* e *Pinus mugo* subsp. *uncinata*, sotto ai quali si osservano le porzioni più arrossate dell'orizzonte B.

Su **esposizioni settentrionali**, a quote inferiori ai 1400-1600 metri il substrato è costituito generalmente da materiale morenico composto da serpentinite prevalente, accompagnata da metagabbro, prasinite ed anfiboliti. La vegetazione è prevalentemente acidofila: il sottobosco, caratterizzato da un numero limitato di specie, è dominato da *Calluna vulgaris*, *Vaccinium myrtillus* e *Vaccinium vitis-idaea*, talvolta con *Erica carnea* e *Polygala chamaebuxus*. La presenza di queste ultime specie, basifile, è in assoluto disaccordo con l'estrema acidità che caratterizza i suoli (pH negli orizzonti superficiali prossimo a 3, v. Tab. 5). Il rapporto Ca/Mg è inferiore all'unità, evidenziando il carattere ultramafico dei suoli, le basi disponibili mantengono concentrazioni estremamente basse in tutti gli orizzonti campionati; il contenuto in metalli pesanti è inferiore rispetto a suoli meno evoluti, probabilmente grazie alla lisciviazione intensa ai pH estremamente bassi tipici di questi suoli (P27, Dystri-Hyperskeletal Regosol (Spodic) secondo la WRB (1998), come Alocri-sol bruno (R. P., 1995).

La morfologia del suolo evidenzia tracce di traslocazione di composti metallo-umici: sotto uno spesso orizzonte organico soffice ed incoerente, a diversi gradi di decomposizione (OL, OF, OH), giace un orizzonte AE, a cui succedono orizzonti più scuri e leggermente arrossati (BCs). Fe ed Al estratti in ossalato confermano la tendenza alla redistribuzione verticale degli ossidi metallici (verificando il processo di podzolizzazione), ma in modo insufficiente per l'attribuzione univoca al gruppo dei Podzols (WRB, 1998) o dei Podzosols (R. P., 1995).

Dove l'erosione ha asportato lo spesso strato morenico, il substrato emerge in prossimità della superficie; la presenza del substrato roccioso impermeabile favorisce l'affioramento in superficie di numerose sorgenti, favorendo la diffusione di suoli idromorfi e, talvolta, zone umide di versante.

I caratteri di questi suoli (ad es., P92, Dystri-Gleyic Cambisol (WRB, 1998), Alocri-sol umifero, bruno, subalpino, con orizzonte redossico screziato, su serpentinite (R. P., 1995).) sono riassunti in Tab. 5. Altre sono:

- numerose screziature da idromorfia;
- humus di tipo Moder;
- grande quantità di metalli pesanti (soprattutto Ni); le condizioni riducenti, evidenziate dalle screziature, non sembrano in grado di mobilizzare ed asportare il Ni;

La vegetazione è influenzata dalla irregolare morfologia del sito, che presenta vallecole umide con acqua corrente e dossi asciutti. Malgrado la bassa quota (1310 metri) le specie prevalenti sono tipiche del piano subalpino, grazie all'esposizione settentrionale ed alla vicinanza al fondovalle che favorisce inversioni termiche invernali; *Maianthemum bifolium*, *Oxalis acetosella*, *Geum rivale* sono invece tipiche del piano montano. Molte specie sono igrofile, tipiche di torbiere basse e di ambienti umidi ossigenati (ad esempio, *Carex flava*, *Juncus articulatus*, *Cirsium palustre*). Quasi tutte le specie rilevate sono acidofile.

Tipologia ambientale	Profili tipo	Orizz.	Colore	pH _{KCl}	TSB%	Ca/Mg	Humus
< 1500 m (piano sup montano)	27, 87, 68, 69	OH	Nero	2,9	42		Mor-Moder
		AE	Grigio-bruno	3,6	42	0,7	
		CBs	Giallo oliva	4,5	41	2	
< 1500 m risorgive	92	A1-A2	Nero, bruno	4,3	34	1,3	Moder
		Bg	Oliva chiaro, screziato	4,1	25	0,8	
		Bw	Bruno giallastro	4,5	36	0,9	
< 1650 m (morenico ultramafico mafico)	63,77,78, 93,94, 122	OH	Nero	3,2	35	1,25	Mor
		E	Grigio	3,6	21	0,55	
		Bs	Bruno-rossastro	4,7	32	1,67	
> 1700 m (morenico ultramafico mafico)	18,64,65, 66,71,95, 114	Ah/AE	Grigio molto scuro	4,2	25	0,9	Mor
		E	Grigio	4,2	43	0,7	
		Bs	Bruno arancio	4,2	30	0,7	

Tipologia ambientale	Ni, Cr, Cu	Fe _o	Al _o	Txt	WRB (1998)
< 1500 m (piano sup montano)	115, 89, 89	0,78	0,33	FS	"Spodic"
	329, 632, 55	1,35	0,49	FS	Regosol
< 1500 m sorgenti	971, 453, 96			F	Gleyi-
	997, 308, 115			F	Dystric
	1076, 341, 118			FS	Cambisol
< 1650 m (morenico ultramafico mafico)	164, 189, 83	0,6	0,2	F	Haplic
	397, 315, 102	5,6	3,5	FS	Podzol
> 1700 m (morenico ultramafico mafico)	521, 433, 54	3,8	0,7	FS	Haplic
	243, 380, 21	0,6	0,2	FS	Podzol
	597, 587, 31	3,9	0,4	FS	

Tabella 5 – Caratteri pedologici principali sotto foresta di *P. uncinato*, su materiali morenici composti da serpentinite dominante e rocce mafiche subordinate. Fe_o, Al_o espressi in g/kg: la loro variazione nel profilo indica la traslocazione di ossidi di Fe ed Al causata dalla podzolizzazione.

Salendo di quota, su substrati morenici a clasti prevalentemente ultramafici, la podzolizzazione diventa un processo pedogenetico importante: fino ai 1600-1700 metri i suoli podzolici sono alternati a suoli meno evoluti quali i suoli bruni (Cambisols) o i Regosols, sempre molto acidi e ricchi in metalli pesanti; la tipologia di humus prevalente è il Mor, secondariamente Moder. Talvolta la podzolizzazione agisce in modo estremamente intenso, come nel caso del P77:

- l'humus è di tipo Mor (sequenza di orizzonti OL, OF, OH, E);
- l'orizzonte E è spesso fino a 30 cm, e sono visibili alcune "glosse" al limite tra l'orizzonte E ed il sottostante Bs;
- l'orizzonte Bs presenta porzioni debolmente cementate da sesquiossidi e, probabilmente, silice illuviale;
- i metalli, in condizioni di elevata acidità, presentano un'elevata mobilità e biodisponibilità.

La copertura vegetale è a pineta di Pino uncinato molto fitta, con qualche raro esemplare di larice o di abete bianco. Il livello arbustivo è sempre molto ben sviluppato; si alternano zone in cui si ha una predominanza dello strato arbustivo medio (con le specie for-

temente acidificanti quali il rododendro, il mirtillo e il brugo) con zone in cui questi arbusti sono affiancati da arbusti alti, quali ontano verde (*Alnus viridis*), sorbo montano e sorbo degli uccellatori (*Sorbus aria* e *Sorbus aucuparia*).

Oltre i 1700 metri circa la podzolizzazione diventa dominante: sono stati trovati e studiati solamente pochi pedon non classificabili come Podzols (WRB, 1998), mentre la maggior parte sono Podzols ben sviluppati ed evoluti, estremamente acidi (Tab. 5).

La vegetazione presenta caratteri subalpini: il sottobosco è ricoperto in gran parte da arbusti di rododendro (*R. ferrugineum*) ed altre ericacee acidofile, quali i tre mirtilli (*Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *V. uliginosum* s. l.), la moretta palustre (*Empetrum nigrum* subsp. *ermaphroditum*) e la *Loiseleuria procumbens*. Vaste zone, specialmente nel settore situato alle quote maggiori, hanno una copertura arbustiva dominata dall'ontano verde (*Alnus viridis*). Le specie serpenticole o metallofite (*Carex fimbriata* ed alcune Brassicacee) sono discontinue e relegate ai settori dove la serpentinite diventa largamente predominante.

Dove il substrato è costituito da serpentinite pura, la podzolizzazione è attiva a quote superiori ai 1700-1800 metri, mentre al di sotto i suoli dominanti sono Cambisols e Regosols (sono stati osservati suoli podzolici solo saltuariamente).

Un esempio di successione altitudinale su serpentinite è rappresentata da P31, il P30 e il P30bis (Tab. 6).

Nelle zone occupate prevalentemente da rocce montonate di serpentinite, i suoli, malgrado la bassa pendenza, sono sottili, limitati in profondità dalla roccia dura e poco alterata. Nonostante la prossimità alla roccia ultramafica, i suoli sono estremamente acidi (pH inferiore a 4 in tutti gli orizzonti campionati) e, spesso, con drenaggio ridotto.

	P31	P30	P30 bis
Quota	1750	1883	1990
pH	4 in superficie, 5 in profondità	< 4.5.	< 4
Tassonomia	Dystric Cambisol (WRB); BRUNISOL-ALOCRISOL (R.P.)	Spodi-Dystric Cambisol (WRB); Podzosol ocrico	Haplic Podzol (WRB); Podzosol sciolto (R.P.)
Orizzonte A	Giustapposizione, sottile	Giustapposizione, privo di struttura.	Assente
Orizzonte eluviale	Assente	Alcune porzioni dell'orizzonte A (denominato A/E/AB) sono sbiancate dall'eluviazione dei composti organo-metallici; lo scheletro è fortemente alterato.	28 cm, con struttura laminare ben sviluppata e scheletro molto alterato.
Orizzonte B	Bw, Non sono evidenti tracce di migrazione verticale di composti metallo-humici.	Bs, arrossato, contenuto in ossidi di Fe elevato. Al scarso.	Bs, ben arrossato e parzialmente cementato.
humus	Mor-Moder	Mor-Moder	Mor
Vegetazione	Strettamente acidofila, numerose specie xerofile, quali <i>Arctostaphylos uva-ursi</i> , <i>Laserpitium balleri</i> , <i>L. latifolium</i> , <i>Juniperus communis</i> e <i>Festuca scabriculum</i> .	Vegetazione acidofila, con un sottobosco dominato dal rododendro e da altre ericacee; presenza di <i>Carex fimbriata</i> .	simile al P30.

Tabella 6 – Confronto tra i suoli di una toposequenza (sequenza altitudinale di suoli) su serpentinite (P31, P30 e P30 bis).

Gli ambienti forestali del metagabbro e delle rocce mafiche: suoli e vegetazione

Sul **versante sinistro** della valle del Chalamy, su esposizioni meridionali, le piccole aree su metagabbro ed anfiboliti presentano pendenze particolarmente elevate: a salti di roccia si alternano falde detritiche generalmente stabilizzate e colonizzate dalla vegetazione; l'esposizione e la pendenza rendono questi ambienti particolarmente xerici.

In un caso (P101, 1720 metri, Haplic Podzol) è stato rilevato il processo della podzolizzazione: l'humus è di tipo Mor (sequenza di orizzonti OL, OF ed OH, direttamente sull'eluviale E); Fe ed Al estratti in ossalato evidenziano traslocazione di ossidi dall'orizzonte E al Bs di accumulo.

La copertura vegetale è acidofila (*Vaccinio-Rhodoretum*), con presenza di specie moderatamente xerofile. Altrove nel versante, la pendenza ancora maggiore ed il maggior soleggiamento favoriscono la presenza di suoli poco evoluti (Regosols), sotto foresta rada di Pino uncinato e sottobosco xerofilo dominato da *Arctostaphylos uva-ursi*. Non sono state effettuate osservazioni e rilievi approfonditi od analisi chimiche.

Sul versante destro (esposizioni settentrionali) il microclima e la vegetazione sono simili a quelle riscontrate in posizioni stabili su serpentinite (sono però assenti le serpentini-cole e le metallofite). Le condizioni sono favorevoli all'instaurarsi del processo di podzolizzazione. Il substrato più povero in basi e più ricco in Al rispetto alla serpentinite permette lo sviluppo di suoli dalle caratteristiche morfologiche e chimiche pienamente compatibili con le definizioni di Podzol secondo i principali sistemi tassonomici. Confrontando il P75 con il P30 ter, si possono cogliere le differenze tipiche tra i suoli su serpentinite e su metagabbro (Tab. 7).

	P75 (metagabbro)	P30 ter (serpentinite)
Quota	1910 m	1975 m
pH in KCl	Compreso tra 3,3 nell'or. A e 3,9 nel Bs	Compreso tra 3,5 nell'E e 4,25 nel Bs2.
Orizzonte A	Sottile e destrutturato	Spesso 10 cm, con struttura laminare moderatamente espressa, di giustapposizione
Orizzonte E	Ben sviluppato anche se disturbato, con struttura grumosa debole	Ben sviluppato, spesso 10-12 cm, con struttura laminare ben espressa e forte alterazione dello scheletro.
Orizzonte Bs	Presenza di un sotto-orizzonte Bh molto scuro di accumulo di sostanze umiche; la struttura è poliedrica subangolare, il colore molto arrossato, l'accumulo di ossidi amorfi di Fe e di Al è importante.	L'accumulo riguarda principalmente il ferro, a causa di un insufficiente contenuto in Al nella serpentinite.
Ca/Mg	> 2.	< 1
Tessitura	Franco-sabbiosa, il limo non raggiunge il 30%.	Tessitura franca o franco-limosa, la frazione limosa supera il 60% negli orizzonti più intensamente alterati.
Classificazione (WRB, 1998)	Haplic Podzol	Haplic Podzol o Spodi-Dystric Cambisol
Humus	Mor-Moder	Dysmoder
Metalli pesanti	Valori di Ni e Cr intorno ai 250 ppm negli orizzonti Bs, inferiori negli eluviali.	Ni e Cr hanno concentrazioni intorno ai 1500 ppm negli orizzonti Bs, inferiori nell'E.

Tabella 7 – Confronto tra suoli su diverso substrato: P75 su metagabbro e P30 ter su serpentinite.

La tessitura più fine è legata alla maggiore alterabilità dei minerali che compongono la serpentinite rispetto al metagabbro. Altre importanti differenze sono il differente rapporto Ca/Mg, contenuto in metalli pesanti, mobilizzazione ed accumulo di ossidi amorfi di Fe ed Al.

I lariceti

Esposizioni settentrionali su serpentinite. Al di sopra delle foreste di Pino uncinato, in prossimità del limite della vegetazione forestale, vi sono i lariceti, radi e con un fitto sottobosco dominato da arbusti alti meno di un metro, quali rododendro ferrugineo, mirtillo (*V. myrtilloides*), falso mirtillo (*V. uliginosum* s. l.), *Loiseleuria procumbens*, *Empetrum nigrum* subsp. *ermaphroditum* e *Juniperus communis* subsp. *nana*. Tutte queste specie hanno un effetto fortemente acidificante sul suolo.

Il clima rigido dovuto all'esposizione settentrionale genera un'evidente crioturbazione, anche se i lobi di soliflusso attivi e le strisce non raggiungono mai dimensioni paragonabili a quelle delle forme presenti a quote più elevate.

La spiccata umidità microclimatica, insieme al substrato impermeabile, favorisce la formazione di zone umide, che occupano gran parte delle zone pianeggianti e delle conche tra le rocce montonate. Anche i pendii presentano evidenze di idromorfia: spesso, la copertura erbacea è dominata da *Trichophorum caespitosum*, e sono presenti *Tofieldia calyculata*, *Eriophorum latifolium*, e sfagni, specie tipiche di suoli umidi. *Carex fimbriata* è comune in tutte le condizioni di drenaggio.

	P49	P108	P 81
Substrato	Materiale morenico, serpentinite 80%.	Serpentinite massiccia (rocce montonate).	Serpentinite
pH in KCl	Tra 3,8 nell'AE e 4,3 nel CBs	< 4,3	< 4,8
Ca/Mg	< 1	< 1	< 1,5
Orizzonte E	Sottile e ricco in sostanza organica, anche se evidente per il colore grigio, la struttura laminare, la forte alterazione dello scheletro quasi completamente scomparso, la tessitura franca ad evidenziare un'intensa alterazione.	Spesso e ben evoluto, composto da un AE ricco in sostanza organica solubile e un sottostante E fortemente sbiancato; l'alterazione dello scheletro è estrema (quasi tutti i clasti sono scomparsi); la struttura è laminare ben sviluppata e la tessitura franca.	Assente, c'è un A molto ricco in sostanza organica.
Orizzonte Bs	Poco espresso, giallastro ma con evidenze di illuviazione; le analisi hanno mostrato accumulo di ossidi di Fe ma non di Al	Ben espresso, arrossato, strutturato, con accumuli di Fe illuviale; la scarsità di Al nel materiale parentale ne impedisce la migrazione.	Assente: sotto l'A c'è un C poco alterato.
Humus	Mor	Mor	Moder
Classificazione WRB	Spodi-Dystric Regosol (a causa dell'orizzonte illuviale poco espresso)	Gleyic Podzol	Dystric Regosol
Classificazione R. P.	PODZOSOL ocrico RANKOSOL oligosaturato	PODZOSOL ocrico	REGOSOL OLIGOSATURATO

Tabella 8 – Confronto tra suoli sotto lariceto, con diverso disturbo da crioturbazione e su diverse esposizioni.

Il substrato è serpentinite massiva, talvolta ricoperta da un sottile strato di materiale morenico, con clasti composti prevalentemente da serpentinite. Una percentuale ridottissima (inferiore al 5%) è formata da clasti di metagabbro e prasinite, la cui influenza sulla pedogenesi è molto ridotta. I profili pedologici osservati hanno evidenziato un'intensa traslocazione di ossidi metallici legati alla sostanza organica: 2 esempi sono il P49 ed il P108.

Questi suoli si differenziano per l'intensità del disturbo dovuto alla crioturbazione: il P49 presenta in superficie evidenti lobi di soliflusso di grande dimensione, anche se poco sviluppati e poco attivi, mentre nei pressi del P108 sono presenti solo localmente piccole terrazzette crionivali e strisce, dove la copertura erbacea è assente. Altre caratteristiche sono riassunte in Tab. 8 (*v. pag. precedente*).

La vegetazione è simile nei 2 siti: le specie sono acidofile, con presenza importante di specie di alta quota quali *Loiseleuria procumbens*, *Selaginella selaginoides*, *Soldanella alpina*; nel caso del P108 sono presenti specie igrofile quali *Trichophorum caespitosum* ed *Empetrum nigrum* subsp. *hermaphroditum*, a verificare il drenaggio rallentato a causa del substrato litoide prossimo alla superficie. *Carex fimbriata* evidenzia i caratteri ultramafici del suolo, nonostante il basso pH ed il basso contenuto assoluto in basi.

Esposizioni meridionali. I lariceti del piano subalpino superiore del versante sinistro orografico della valle del Chalamy hanno un aspetto più xerico rispetto alle analoghe formazioni del versante opposto. Lo strato arbustivo medio è prevalentemente a *Juniperus communis* invece che a rododendro (cfr. con foresta rada vicina al limite della vegetazione forestale sull'"adret", in Verger, 1993). Non mancano ericacee acidofile quali i mirtilli neri e rossi (*Vaccinium myrtillus* e *V. vitis-idaea*). L'aspetto della foresta è generalmente aperto. Queste differenze sono dovute all'esposizione meridionale che fa sì che la neve duri per poche settimane ogni anno, mentre spesso mancano i cumuli estivi che svettano nel cielo dell'opposto versante.

Il substrato è detritico o morenico, a clasti prevalentemente composti da serpentinite.

I suoli che si formano sono meno acidi rispetto a quelli situati alla medesima quota sull'opposto versante (presentano qui valori simili a quelli oca-podzolici citati in Verger, 1993).

Le loro caratteristiche medie sono in accordo con le richieste ecologiche delle specie rilevate (P81, Tab. 8). Altre sono:

- scarsa evoluzione (il profilo ha un orizzonte organominerale A seguito da un orizzonte scarsamente pedogenizzato C); il solum è classificato come Dystric Regosol. Ciò probabilmente dipende dalla granulometrica grossolana del materiale parentale;
- spesso strato organico indecomposto;
- humus di tipo Dysmoder.

Anche limitati ambiti nella Valle di Champorcher, su esposizioni meridionali, sono ricoperte da foreste rade di larice: su substrati analoghi, il suolo è moderatamente evoluto (sotto 2 orizzonti organominerali A vi è un orizzonte di alterazione Bw), acidificato, desaturato e presenta i caratteri tipici dei suoli su substrati ultramafici (basso rapporto Ca/Mg, elevato contenuto in metalli pesanti).

Le specie presenti sono prevalentemente acidofile e mesoxerofile, ma vi sono anche specie basifile quali *Linum alpinum* e *Viola calcarata* e serpentinicole (come *C. fimbriata*). Il carattere xerico del sito è evidenziato dalla presenza di *Antennaria dioica*, *Juniperus communis*, *Festuca varia* aggr.

Le altre formazioni

Le **peccete** sono diffuse in limitati ambiti nella V. di Champorcher, e sono del tutto assenti nella Valle del Chalamy; il substrato è costituito prevalentemente da materiale morenico composto dalle numerose litologie affioranti nella porzione valliva superiore, con una grande presenza di clasti di rocce acide.

Il suolo (P26) è acido, con deboli tracce di traslocazione di composti organo-metallici. L'orizzonte organominerale A è assente sotto agli orizzonti organici; al suo posto vi è un orizzonte BE più chiaro e meno arrossato del sottostante, ad evidenziare la debole attività della podzolizzazione. Il Bs è fortemente arrossato.

Tutti gli orizzonti hanno una tessitura sabbioso-franca, da cui deriva la debolezza della struttura.

La vegetazione è fortemente acidofila: sono diffuse le specie tipiche del *Vaccinio-Piceetalia*.

Le **boscaglie igrofile di ontano verde** (*Alnus viridis*) sono presenti su esposizioni settentrionali e pendenze elevate. Il suolo (P50) è un intergrado tra Podzols e Cambisols, o tra Alocrisols e Podzosols, grazie all'orizzonte eluviale ben sviluppato, malgrado la carenza di Al probabilmente dovuta al materiale parentale; vi sono anche veri Podzols (P15), con una sequenza di orizzonti A (di giustapposizione), E, Bs, Cs ben differenziati tra loro. Le sue proprietà chimiche evidenziano un'intensa alterazione del materiale parentale: il rapporto Ca/Mg è pari a 5 (valore particolarmente elevato su questo tipo di substrato), il pH è compreso tra 3,9 nell'orizzonte A e 4,5 nel Bs, il tasso di saturazione basica è estremamente basso, il contenuto in Ni è pari a circa 600 ppm.

Le specie presenti sono acidofile; sono presenti, grazie al substrato ultramafico, numerose specie tipiche degli ambienti ofiolitici e ricchi in metalli in traccia (*Carex fimbriata*, *C. sempervirens*, *Biscutella laevigata* e *Thlaspi sylvium*).

La presenza di suoli podzolici (fortemente acidi e poveri in nutrienti) anche sotto questo tipo di vegetazione che, come è noto, tende ad arricchire i suoli (ad esempio, favorisce la fissazione di azoto) evidenzia il peso del fattore climatico sulla pedogenesi dell'orizzonte subalpino superiore.

CONCLUSIONI

Gli ambienti forestali sono caratterizzati da una scarsa correlazione tra comunità vegetali, substrato e caratteri edafici. I fattori più significativi sembrano essere quelli climatici (quota ed esposizione). Le comunità su serpentinite sono arricchite in alcune specie, quali *Carex fimbriata* (nel piano subalpino) e numerose brassicacee (*Biscutella laevigata*, *Thlaspi sylvium*, *Cardamine resedifolia*).

I suoli sono sempre acidi (piano montano) o estremamente acidi (piano subalpino), anche sulle litologie ultramafiche ricche in basi. Il contenuto in metalli pesanti Ni e Cr è massimo su serpentinite, ma il dato presenta un'elevata variabilità grazie alla importante lisciviazione tipica in condizioni di forte acidità.

P	Coord X	Coord Y	quota	P	Coord X	Coord Y	quota
1	3911750	5058241	1830	78	391426	5059323	1430
7	391115	5055082	2120	79	391477	5059337	1410
8	390706	5058417	1890	81	390383	5060518	1885
9	390000	5058989	1540	82	390,239	5060460	1910
14	391375	5054354	2010	86	391066	5060624	1890
15	391180	5054578	2040	87	390592	5057616	1870
17	392522	5056920	1890	89	389739	5060068	1870
18	393437	5058126	1705	90	388433	5058985	2100
26	390105	5053152	1915	91	389330	5059186	1730
27	392071	5059436	1330	92	391402	5059517	1310
30	389573	5057737	1883	93	391460	5059370	1390
30b	389697	5057635	1950	94	391,386	5058,851	1650
30t	389626	5057518	2020	95	391,146	5058,285	1810
31	389495	5058512	1750	96	390421	5057506	1880
49	390735	5056366	2140	99	390,313	5059,381	1620
50	390971	5057137	2095	101	389359	5059187	1720
59	390884	5060062	1620	103	390,272	5056,245	2190
60	390817	5060444	1724	108	390129	5056607	2150
61	390692	5060346	1805	111	392189	5059047	1470
62	390375	5060220	1805	112	391883	5058828	1700
63	392232	505064	1625	113	391678	5058560	1765
64	390925	5058308	1855	114	391342	5058210	1800
65	391257	5058305	1795	115	390747	5058415	1885
66	391257	5058305	1730	116	391013	5058394	1800
67	399011	5059423	1330	117	391047	5060623	
68	392392	5059030	1460	118	390266	5059419	1470
69	391850	5059050	1390	119	390588	5057550	1900
71	391117	5058165	1827	120	390266	5056906	2070
72	390737	5057990	1925	122	391448	5059349	1450
73	391062	5057990	2025	123	394104	5059203	1115
74	390944	5057685	1925	124	393893	5058808	1360
75	391153	5057632	1910	125	393763	5058644	1530
76	391214	5057623	1903	131	390,136	5058,68	1632
77	391395	5059219	1480				

Tab. 9 – Localizzazione e quota dei profili considerati in questo studio. Le coordinate sono in sistema Gauss Boaga.

Una possibile spiegazione è che la forte acidificazione dei suoli prodotta dalla sostanza organica riesca a rendere i suoli della serpentinite meno “ostili” per la vegetazione, mediante lisciviazione del magnesio in eccesso e dei metalli in traccia. I suoli sono, infatti, sempre estremamente acidi sui versanti esposti a nord, in assoluto contrasto con quanto accade normalmente sulle rocce ultramafiche e, in minor misura, sulle mafiche (Brooks, 1987). Il processo della podzolizzazione, normalmente escluso nei suoli formati da rocce ultramafiche ricche in basi, è attivo su tutti i substrati nei piano altitudinali montano superiore e subalpino nel Parco del Mont Avic.

I metalli in traccia sono altamente mobili in condizioni di elevata acidità, e questa mobilità potrebbe influenzare la biodisponibilità, e la tossicità, di questi elementi (Alloway, 1990).

È interessante osservare la presenza localmente importante di specie basifile (ad esempio, *Erica carnea*, *Polygala chamaebuxus*, *Thymus serpyllum* agr.) anche su suoli forestali con pH e contenuto in basi estremamente bassi.

Occorre anche evidenziare la presenza di *Carex fimbriata* solo su suoli con substrati dominati dalla serpentinite, anche nel caso in cui il magnesio sia stato intensamente lisciviato ed asportato dal complesso di scambio, ed il contenuto in metalli pesanti sia quasi analogo a quello tipico dei suoli su rocce mafiche. Ciò contrasta con quanto noto in letteratura (ad esempio, Verger, 1998): bassi rapporti Ca/Mg ed elevati contenuti assoluti in Mg sono normalmente considerati i fattori più importanti. Questa specie è anche nota come neutrofila (Verger, 1995), ma qui cresce anche su suoli podzolici estremamente acidi in tutti gli orizzonti.

BIBLIOGRAFIA

- A.F.E.S.-I.N.R.A., 1995. *Référentiel Pédologique*. I.N.R.A., Paris.
- Alloway B. J., 1990. *Heavy metals in soils*. Glasgow: Blackie. 339 p.
- Brooks, R.R., 1987. *Serpentine and its Vegetation. A multidisciplinary Approach*. Portland, Oregon: Dioscorides press. 454 p.
- D'Amico M., 2003. *Suoli e ambienti del Parco Naturale del Mont Avic (Ao): prime indagini*. Tesi di laurea, Università degli Studi di Milano Bicocca, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio.
- D'Amico M., 2006. Suoli e ambienti del Parco Naturale del Mont Avic – 1: piani subalpino superiore e alpino. *Rev. Valdôtaine Hist. Nat.*, 60: 5-27.
- FAO, ISRIC., 1998. *World Reference Base for Soil Resources*.
- Gabbrielli R., Pedani F., Vergnano Gambi O., 1987. Ulteriori dati sulla composizione minerale della vegetazione degli affioramenti ofiolitici dell'alta Valle d'Ayas. *Rev. Valdôtaine Hist. Nat.*, 41: 99-110.
- Lee B. D., Graham R. C., Laurent T. E., Amrhein C., Creasy R. M., 2001. Spatial distribution of soil chemical conditions in a serpentinitic wetland and surrounding landscape. *Soil Science Society of America Journal.*, 65: 1183-1196.
- Lundström U. S., van Breemen N., Bain D., 2000. The podzolization process. A review. *Geoderma* 94: 91-107.
- Mercalli L., 2003. *Atlante climatico della Val d'Aosta*. Torino: Società Meteorologica Italiana. ix+405 p.
- Michalet R., Gandoy C., Cadel G., Girard G., Grossi J. L., Joud D., Pache G., 2001. Modes de fonctionnement d'humus des forêts sempervirentes des Alpes internes françaises. *Compte Rendus Académie de Sciences, Sciences de la vie*, 324: 59-70.
- Occhipinti S., 1997. *Prime note sulla geologia e geomorfologia della valle del torrente Chalamy*. Inedito. Biblioteca del Parco Naturale del Mont Avic. Champdepraz, Aosta.
- Pignatti S., 1998. *I boschi d'Italia. Sinecologia e diversità*. Torino: UTET. 677 p.
- Soil Survey Staff, 2003. *Soil Taxonomy*. USDA-SCS. U.S. Gov. Print Office, Washington, DC.
- Verger J. P., 1990. Importance des facteurs édaphiques dans la repartition des forêts subalpine d'adret sur serpentines, prasinites et gneiss en Val d'Aoste (Italie). *Ann. Sci. For.*, 47: 43-56..
- Verger J. P., Cadel G., Rouiller J., Souchier B., 1993. Végétations forestières et alpines du haut Val d'Aoste sur roches ophiolitiques et gneiss. *Rev. Ecol. Alp.*, 2: 43-72.
- Verger J. P., 1995. Vegetation and Soils in the Valle d'Aosta (Italy). In: Baker A. J. M., Proctor J., Reeves R. D. (eds.). *The vegetation of Ultramafic (Serpentine) Soils: Proceedings of the first International Conference on Serpentine Ecology*. Intercept, Andover: p. 175-195.
- Verger J.P., 1998. Les groupements serpentinitiques à *Carex fimbriata* du haut Val Pellice (Alpes Cottienes Italiennes). *Acta Botanica Gallica*, 145: 109-119.
- Vergnano Gambi O., Gabbrielli R., 1981. La composizione minerale della vegetazione degli affioramenti ofiolitici dell'alta Valle d'Ayas. *Rev. Valdôtaine Hist. Nat.*, 35: 51-61.

RIASSUNTO

Le foreste del Parco Naturale del Mont Avic (Ao) hanno numerose peculiarità, a causa del substrato ofiolitico (serpentinite associate a rocce mafiche e calcescisti), e della copertura vegetale: il piano subalpino è dominato dal Pino uncinata, mentre nel piano montano è presente la faggeta più settentrionale della Val d'Aosta. I suoli hanno interessanti proprietà chimiche e fisiche, raramente correlate alle comunità vegetali.

I suoli sotto faggio (*Luzulo fagetum*), e sui versanti caldi del piano montano sotto *Pinus sylvestris* e *Pinus uncinata*, sono poco sviluppati (Regosols, Cambisols, secondo la WRB, 1998), e mostrano alcune caratteristiche in comune: pH < 5,5, saturazione in basi variabile, Ca/Mg intorno ad 1, alto contenuto in Ni e Cr (fino a 1200 ppm), forma di humus Moder. Su rocce mafiche i valori di pH sono inferiori, ed il contenuto in metalli in traccia è inferiore a 300 ppm. Le comunità vegetali sono acidofile (su serpentinite arricchite con numerose brassicacee).

Sui versanti freddi ed umidi del piano subalpino, sotto pineta a *Pinus uncinata*, la podzolizzazione è attiva su tutte le litologie, ma particolarmente intensa su rocce mafiche. Alcune proprietà dei suoli su serpentinite sono: pH < 4, saturazione in basi bassa, Ni e Cr < 800 ppm, elevata mobilità dei metalli, rapporto Ca/Mg < 1; su rocce mafiche il pH è simile, Ni e Cr < 250 ppm, Ca/Mg > 1. Le forme di humus (Mor) e la vegetazione (*Rhodoreto-Vaccinetum*) non sembrano influenzate dal materiale parentale, ma *Carex fimbriata* e numerose Brassicaceae crescono solo su serpentinite.

RÉSUMÉ

Sols et Végétations du Parc Naturel du Mont Avic (Vallée d'Aoste, Italie) - 2: les forêts.

Les forêts du Parc Naturel du Mont Avic (Vallée d'Aoste, Italie) montrent nombreuses particularités, liées au substrat ophiolitique (serpentinite, associée aux roches mafiques et calcschistes), et à la végétation : l'étage subalpin est dominé par le Pin à crochet, et à l'étage montagnard il est possible de voir la plus septentrionale hêtraie du Val d'Aoste.

Les sols sous hêtraie (*Luzulo-Fagetum*), et sur les versants chauds de l'étage montagnard sous *Pinus sylvestris*, sont peu évolués (Regosols, Cambisols, WRB 1998) et ont quelques propriétés typiques : pH < 5,5, saturation en bases variable, Ca/Mg = 1, haut contenu en Ni et Cr (jusqu'à 1200 ppm), humus de type Moder. Sur roches mafiques le pH est inférieur, et le contenu en métaux lourds est sous 300 ppm. La végétation est toujours acidophile (enrichie en brassicaceae sur serpentinite).

Sur le versant à l'ubac à l'étage subalpin, sous pinède à Pin à crochet, la podzolization est active sur toutes les roches, mais particulièrement sur roches mafiques. Quelques propriétés des sols sur serpentinite sont : pH < 4, saturation en bases bas, Ni et Cr totales < 800 ppm, très haute mobilité des métaux lourds, rapport Ca/Mg < 1. Sur roches mafiques le pH est semblable, Ni et Cr < 250 ppm, rapport Ca/Mg > 1. Les formes d'humus (Mor) et la végétation (*Rhodoreto-Vaccinetum*) ne semblent pas liées au roche mère, mais *Carex fimbriata* et nombreuses Brassicaceae poussent jusque sur serpentinite.