

SEGRETERIATO GENERALE DELLA
PRESIDENZA DELLA REPUBBLICA ITALIANA

**IL SISTEMA AMBIENTALE
DELLA TENUTA PRESIDENZIALE
DI CASTELPORZIANO**

*Ricerche sulla complessità di un ecosistema
forestale costiero mediterraneo*

Terza serie

vol. I



ACCADEMIA NAZIONALE DELLE SCIENZE
DETTA DEI QUARANTA

«SCRITTI E DOCUMENTI» XLVI

ROMA 2013

© Copyright 2013

ACCADEMIA NAZIONALE DELLE SCIENZE DETTA DEI XL
ROMA

ISSN 03-91-4666

ISBN 978-88-9807-509-6

ACCADEMIA NAZIONALE DELLE SCIENZE DETTA DEI XL
00161 Roma - Via L. Spallanzani, 7

SOMMARIO GENERALE

Terza serie* vol. I

EMILIA CHIANCONE – <i>Prefazione</i>	IX
ERVEDO GIORDANO – <i>Prologo e Compendio</i>	XII

CIRCOLAZIONE ATMOSFERICA E CARATTERISTICHE CLIMATICHE

RITA AROMOLO - VALERIO MORETTI - FILIPPO ILARDI, <i>Caratterizzazione dei metalli pesanti nelle deposizioni atmosferiche nella Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Nota I°</i>	3
SILVANO FARES - GIORGIO MATTEUCCI - ELENA PAOLETTI - FRANCESCO LORETO - ARIANNA MORANI - VALERIO MORETTI - TIZIANO SORGI - FILIPPO ILARDI - GIUSEPPE SCARASCIA MUGNOZZA, <i>I siti sperimentali all'interno della Tenuta Presidenziale di Castelporziano: opportunità per testare le capacità di rimuovere carbonio e ozono dall'atmosfera da parte delle foreste mediterranee periurbane</i>	13

GEOMORFOLOGIA, PEDOLOGIA E RISORSE IDRICHE

CRISTINA DE NICOLA - ANNA TESTI - ROBERTO CROSTI - AUGUSTO ZANELLA - DIEGO D'ANGELI - GIULIANO FANELLI - SANDRO PIGNATTI, <i>Humus e vegetazione come indicatori della qualità dell'Habitat nella Tenuta di Castelporziano</i>	27
ALESSANDRA TRINCHEA - VALENTINA BARATELLA - MARCO RENZAGLIA - ANNA BENEDETTI, <i>Caratterizzazione delle sostanze umiche in profili di suoli forestali della Tenuta di Castelporziano</i>	69

* Comitato Editoriale: Luca Maffei, Fabio Recanatesi, Aleandro Tinelli.

LUCIA MASTRORILLO - MARCO PETITTA, <i>Il monitoraggio idrogeologico della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (Roma)</i>	89
ALBERTO FREPOLI - F. MARRA, <i>Analisi della sismicità e del campo di sforzo crostale del Lazio centrale: periodo 1997-2008</i>	111

ECOFISIOLOGIA VEGETALE

DIEGO D'ANGELI - GIULIANO FANELLI - CRISTINA DE NICOLA - ANNA TESTI - SANDRO PIGNATTI, <i>Censimento floristico su griglia quadrettata nella Tenuta Presidenziale di Castelporziano – Risultati preliminari</i>	135
ANNA TESTI - SILVIA GUIDOTTI - SANDRO PIGNATTI, <i>Ricerche ecologiche e microclimatiche in relazione al cambio climatico nella Tenuta di Castelporziano</i>	151
LINA FUSARO - SIMONE MEREU - ELISABETTA SALVATORI - DONATELLA SPANO - FAUSTO MANES, <i>Variazioni stagionali del Q_{10} e della respirazione basale in ecosistemi costieri: i modelli di respirazione sono utilizzabili per la vegetazione sempreverde mediterranea?</i>	177
LORETTA GRATANI – ROSANGELA CATONI – MARIA FIORE CRESCENTE - ANNA BONITO - LAURA VARONE, <i>Soglia di tolleranza ai fattori di stress di specie sempreverdi mediterranee</i>	203
NALDO ANSELMi - EMMA MOTTA - ANNA MARIA VETTRAINO - BRUNO PAPERATTI - MARCO NASINI - FULVIO RAVAIOLI - MATTEO DELLA VALLE - MIRKO FAVARO, <i>Stato sanitario delle formazioni boschive della Tenuta Presidenziale di Castelporziano: un decennio di ricerche</i>	213
Indice degli Autori	229

Terza serie

vol. II

FAUNA

ROBERTO ISOTTI - LUCA LUISELLI - ALEANDRO TINELLI - ALBERTO FANFANI, <i>Analisi della comunità ornitica, risposte statistiche e standardizzazione del metodo</i>	243
GASPARRE GUERRIERI - UMBERTO DE GIACOMO - ALEANDRO TINELLI, <i>Associazioni boschive e presenza riproduttiva di Picidae sedentarie in ambienti forestali eterogenei del Lazio costiero (Castelporziano, Roma – Italia centrale)</i> . . .	253

AUGUSTO CATTANEO, <i>Osservazioni preliminari sullo status degli Anfibi e dei Rettili della Tenuta Presidenziale di Castelporziano, con nuovi rilievi sull'eco-biologia di Elaphe quatuorlineata e Natrix natrix (Serpentes: colubride)</i>	269
PAOLO MALTZEFF - LEO RIVOSECCHI, <i>Nuovi dati sulla ditterofauna della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (Roma)</i>	287
MARCO SEMINARA – DARIA VAGAGGINI – FABIO STOCH, <i>Monitoraggio a lungo termine e conservazione delle acque astatiche: i microcrostacei come bioindicatori funzionali dei cambiamenti del regime idrologico</i>	313
MARCELLO BAZZANTI, <i>Ecologia e conservazione dei macroinvertebrati dei biotopi astatici del litorale laziale, con particolare riferimento alla Tenuta Presidenziale di Castelporziano (Roma)</i>	329
LUIGI SOLIDA - ALBERTO FANFANI, <i>Dati sulla biologia di due specie di formiche mietitrici (Messor wasmanni e M. minor) nella Tenuta Presidenziale di Castelporziano (Roma)</i>	351

RISORSE ZOOTECNICHE

PIER PAOLO DANIELI - CINZIA MARCHITELLI - VALENTINA PRIMI - BRUNO RONCHI - ALESSANDRO NARDONE, <i>Presenza di composti bioattivi ad attività estrogeno-simile nei pascoli della Tenuta di Castelporziano e possibile effetto sui tassi di natalità e gemellarità in bovine di razza maremmana</i> .	363
---	-----

IMPATTO ANTROPICO

MASSIMO PAOLANTI - CARLO BLASI - ROSA RIVIECCIO - LAURA ZAVATTERO, <i>Valutazione delle relazioni ecologiche e degli impatti tra la Tenuta di Castelporziano e il suo contesto territoriale</i>	383
FABIO RECANATESI - LUCA MAFFEI, <i>La salvaguardia della biodiversità nella Tenuta Presidenziale di Castelporziano (Roma): studio sull'evoluzione del territorio di un'area protetta in ambiente mediterraneo attraverso analisi diacronica delle utilizzazioni forestali (1980-2000)</i>	399
FABIO RECANATESI - MICHELA TOLLI, <i>Il ruolo delle aree protette nei territori periurbani: l'esempio della Tenuta Presidenziale di Castelporziano</i>	417

QUALITÀ ECOLOGICA E PAESAGGIO
GESTIONE FORESTALE E ZONIZZAZIONE

Contributo all'applicazione del Piano di Gestione Forestale

LUCA MAFFEI - ALESSANDRO MUSICANTI - FABIO RECANATESI - BRUNO CAPITONI - ALESSANDRO EBERLE - ERVEDO GIORDANO, <i>Definizione delle diverse tipologie degli interventi su soprassuoli a ceduo ed identificazione di aree di studio permanenti</i>	435
ALESSANDRO MUSICANTI - LUCA MAFFEI - FABIO RECANATESI - BRUNO CAPITONI - ALEANDRO TINELLI - ERVEDO GIORDANO, <i>Individuazione, nell'ambito dei querceti caducifogli e sempreverdi di Castelporziano, di aree idonee alla raccolta del seme per la salvaguardia del germoplasma autoctono</i>	463
BRUNO CAPITONI - ERVEDO GIORDANO - LUCA MAFFEI - ALEANDRO TINELLI, <i>Aggiornamento dei parametri dendroauxometrici disponibili per le pinete di Castelporziano</i>	479

Elenco della diversità genetica animale e vegetale

PAOLO MALTZEFF, <i>Integrazione dell'elenco (Checklist) degli organismi segnalati nella Tenuta Presidenziale di Castelporziano (Roma)</i>	525
Indice degli Autori	539

EMILIA CHIANCONE*

Prefazione

* Presidente dell'Accademia Nazionale della Scienze detta dei XL.

Prefazione

L'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL non poteva non dedicare al ricordo del compianto Presidente Gian Tommaso Scarascia Mugnozza la terza serie dei volumi "Il sistema ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano – Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo". Vi sono raccolti i contributi scientifici dei numerosi ricercatori impegnati, a partire dal 2006, nel programma di ricerche, studi e monitoraggio del sistema ambientale della Tenuta riguardo a geomorfologia e risorse idriche, fauna e vegetazione, clima e circolazione atmosferica, ed infine impatto antropico. Tale era l'importanza attribuita da Scarascia a questo programma, che ad esso – nonostante la malattia – ha dedicato gli ultimi mesi del suo lavoro, con lo spirito di dedizione per le Istituzioni del nostro Paese che hanno sempre caratterizzato la Sua vita. Ed era Sua ferma intenzione presentare questa terza serie al Signor Presidente della Repubblica così come era avvenuto nel 2001 e nel 2006 per le serie precedenti.

Non ha potuto realizzare questa aspirazione ed è ora mio compito ricordare che cosa abbia significato per la salvaguardia della complessa realtà ambientale della Tenuta – e quanto sia valido ancora oggi – il Programma di monitoraggio impostato da Scarascia con grande intelligenza e lungimiranza all'inizio degli anni novanta. Nel sottoporre il Programma all'attenzione del Capo dello Stato alla fine del 1992 Scarascia mise in luce la necessità di uno studio multi-fattoriale del territorio che fosse in grado da una lato di fornire un quadro completo dell'evolversi nel tempo dell'ecosistema della Tenuta, unico nel bacino del Mediterraneo per ricchezza di specie animali e vegetali, e dall'altro di suggerire, sulla base delle informazioni e dati scientifici acquisiti, azioni concrete per una sua gestione ottimale. Un rapporto continuo quindi fra il monitoraggio di tutti i fattori che influenzano l'ecosistema di un territorio e la gestione del territorio stesso, con un feed-back continuo fra queste due azioni. Una visione di grande attualità, un modello metodologico di grande valore scientifico, formativo ed anche normativo.

La realizzazione di un programma così complesso ed ambizioso è resa possibile dal sostegno continuo del Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica e dalla completa comunanza di intenti e sinergia fra l'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL – che oltre alla gestione cura la pubblicazione delle ricerche nella collana "Scritti e Documenti" – e la Commissione Tecnico-scientifica che con grande competenza predispone le attività di ricerca. Questo programma si avvale anche dell'ampia collaborazione e disponibilità del Servizio Tenute e Giardini e della Direzione della Tenuta e del sostegno finanziario del Ministero dell'Ambiente. La raccolta dei dati è attuata, fin dalla sua istituzione nel 2003, dallo

“Osservatorio centro multidisciplinare per gli Ecosistemi costieri mediterranei”, che nella banca-dati creata ad hoc dispone ora di un archivio prezioso, di un riferimento straordinario per qualsiasi azione efficace di salvaguardia ambientale e della biodiversità della Tenuta.

A tutte queste Istituzioni e a coloro che vi operano è dovuta gratitudine non solo dagli scienziati, ma da tutti coloro che hanno a cuore la salvaguardia e la valorizzazione del patrimonio naturalistico del nostro Paese.

ERVEDO GIORDANO**

Prologo e Compendio

** Presidente della Commissione Tecnico Scientifica della Tenuta di Castelporziano.

Prologo

La terza serie dei volumi riguardanti il Sistema Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano comprende parte dei lavori svolti nel quadro del Programma di monitoraggio durante il periodo 2006-2012 e pubblicata a cura dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, negli Atti e Documenti.

Il piano pluriennale degli studi era stato predisposto dal Prof. Gian Tommaso Scarascia Mugnozza, quale Presidente della Commissione Tecnico Scientifica, a suo tempo istituita dal Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica, allo scopo di indirizzare le attività verso la tutela delle risorse naturali, in particolare della biodiversità vegetale ed animale e promuovere la motivata gestione delle foreste e dei pascoli della Tenuta.

Altro compito, non meno significativo, affidato alla Commissione, riguardava la raccolta di elementi conoscitivi sullo stato degli ecosistemi forestali costieri, utili alla definizione delle misure di sostenibilità ambientale, non solo a livello regionale del litorale laziale, ma anche in analoghe situazioni a clima mediterraneo in Italia ed all'estero.

Nel 2011, in seguito alla prematura scomparsa del Prof. Gian Tommaso Scarascia Mugnozza, il Segretario Generale, Dott. Donato Marra, provvedeva, tempestivamente, alla ristrutturazione della Commissione Tecnico Scientifica al fine di mantenere la continuità delle attività di monitoraggio in corso e di rendere sempre più efficace il raccordo con i Servizi del Quirinale e con la Direzione della Tenuta, in vista dell'impatto delle profonde trasformazioni territoriali nelle aree circostanti.

La Commissione ha così potuto disporre dell'esperienza del Consigliere Maurizio Nicoletti, del Capo Servizio Tenute e Giardini Dott. Augusto Santacatterina, del Direttore della Tenuta Dott. Giorgio Calzolari, e del Capo area studi ambientali e rapporti con gli enti scientifici e di ricerca - Osservatorio centro multidisciplinare per gli Ecosistemi costieri mediterranei, Dott. Ing. Aleandro Tinelli, a cui si sono affiancati in tempi successivi i rappresentanti dei Ministeri ed altri esperti.

L'attuale composizione della Commissione è riportata nella Tab 1.

La struttura dei sette gruppi di lavoro, inizialmente previsti, non ha subito sostanziali modifiche, mentre il numero delle unità operative è variato in funzione della complessità delle ricerche e delle collaborazioni avviate con diverse istituzioni scientifiche nazionali, europee ed internazionali. Hanno così assunto particolare rilevanza le partecipazioni ai programmi di monitoraggio europeo BEMA (Biogenic Emissions in Mediterranean Areas) ed EUROFLUX (Long term Carbon dioxide and water vapour fluxes of European Forests and interactions with the

Tab. 1. Commissione Tecnico Scientifica della Tenuta di Castelporziano nominata con **decreto del Segretario Generale della Presidenza della Repubblica del 18 marzo 2011 n. 43 (*)**, come previsto dagli art., 3 e 4 del Decreto Presidenziale 5 maggio 1999 n. 136/N.

Ervedo GIORDANO	Professore Emerito di Selvicoltura - Presidente
Alessandro PIGNATTI	Professore Emerito di Ecologia
Fulco PRATESI	Presidente Onorario del W.W.F. Italia
Silvano TOSO	Istituto di Ricerca per la Protezione Ambientale
Carlo BLASI	Docente di Ecologia Vegetale e Conservazione della Natura presso il Dipartimento Di Biologia Vegetale - Università "La Sapienza" (Roma)
Alessandro NARDONE	Direttore del Dipartimento Di Produzioni Animali - Università degli Studi della Tuscia (Viterbo)
Elvezio GALANTI	Direttore Ufficio Relazioni Istituzionali del Dipartimento di Protezione Civile
Tiziana KRASNA	In rappresentanza del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.
Maria Carmela GIARRATANO	In rappresentanza del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
Cesare PATRONE	Capo del Corpo Forestale dello Stato in rappresentanza del Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali
Federica GALLONI	In rappresentanza del Ministero per i Beni e le Attività Culturali
Romualdo COVIELLO	Docente di Economia - Università degli Studi della Basilicata
Enrico PORCEDDU	Docente di Genetica Agraria - Università degli Studi della Tuscia (Viterbo)
Maurizio NICOLETTI	Consulente del Segretariato Generale
Francesco SAPIO	Consulente del Segretariato Generale
Augusto SANTACATTERINA	Capo del Servizio Tenute e Giardini
Dario TURCHI	Capo del Servizio Patrimonio
Giorgio CALZOLARI	Direttore della Tenuta di Castelporziano
Aleandro TINELLI	Capo Area Studi ambientali e rapporti con gli enti scientifici e di ricerca Servizio Tenute e Giardini

(*) **Modificata** con **Decreto S.G.P.R. n. 64 del 17 maggio 2012** (Arch. Federica Galloni in sostituzione del Ing. Luciano Marchetti, quale componente in rappresentanza del Ministero per i Beni e le Attività Culturali) e con **Decreto S.G.P.R. n. 65 del 21 maggio 2012** (Dr.ssa Maria Carmela Giarratano in sostituzione del Dr. Aldo Cosentino quale rappresentanza del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare) e con **Decreto S.G.P.R. n. 33 del 08 marzo 2013** (Dott.ssa Tiziana Krasna in sostituzione della Dott.ssa Paola Lucarelli quale componente in rappresentanza del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare).

Climate Systems), che hanno potuto fruire della collaborazione dell'Osservatorio e del supporto logistico della Tenuta.

Castelporziano è entrato a far parte della Rete Italiana di Ricerca Ecologica a lungo termine (LTER-Italia) e dal 2010 collabora al progetto infrastrutturale europeo EXPER, coordinato dalla Francia mentre, più di recente, attraverso la banca dati dell'Osservatorio partecipa all'infrastruttura europea LIFE WATCH per la raccolta e lo scambio delle informazioni sulla biodiversità.

Il Prof. Gian Tommaso Scarascia Mugnozza era particolarmente legato come scienziato e come italiano alla Tenuta di Castelporziano, poiché sentiva profondamente l'impegno che gli era stato affidato dalla più Alta Carica dello Stato, di difendere un ecosistema ormai unico nel nostro Paese.

Infatti, la Tenuta era per lui espressione di quell'ambiente mediterraneo così ricco di bellezza, di storia, di cultura, ma anche di biodiversità alla cui salvaguardia e valorizzazione aveva dedicato studi e ricerche per vincere quella che considerava la piaga più destabilizzante dell'umanità: la fame nel mondo.

Come è noto, proprio a Castelporziano aveva dedicato, nei primi anni 60, una varietà di frumento duro, il primo frutto pratico della sua attività di ricerca sulla variabilità genetica. Un complesso di studi e ricerche che, grazie alla sua intuizione, dovevano portare ad un sensibile miglioramento di questa coltura nei Paesi dell'Africa settentrionale ed in Medio Oriente.

Non deve quindi sorprendere se nel 2009, mediante un protocollo d'intesa stipulato tra il Segretariato Generale ed il Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, dava l'avvio nella Tenuta, ad una nuova serie di ricerche sulle specie cerealicole in ambiente semiarido, impiegate nell'area mediterranea e subsahariana.

Nonostante i suoi molteplici impegni accademici, non trascurava mai di seguire le attività della Tenuta ed in particolare la realizzazione del Piano di Gestione Forestale che, dopo l'approvazione da parte della Commissione Scientifica, nel 2010, avrebbe voluto illustrare personalmente al Signor Presidente della Repubblica.

Questo suo desiderio, rimasto purtroppo irrealizzato, appare evidente nelle prime pagine del volumetto dal titolo "Introduzione e Sintesi degli Studi e delle Ricerche" che rappresenta l'ultima fatica da lui affrontata a Castelporziano, ma che contiene nelle conclusioni delle preziose indicazioni a livello istituzionale.

Tra queste meritano di venirne segnalate alcune per la loro attualità:

- Lo studio sulla compatibilità strutturale e funzionale degli ecosistemi della Tenuta, in relazione alla collocazione nell'area metropolitana di Roma, nel rispetto degli obiettivi derivanti dalla partecipazione dell'Italia a Direttive Comunitarie ed a Convenzioni internazionali;

- L'aggiornamento del Piano di Gestione, quale piattaforma per sviluppare e promuovere nuove conoscenze e misure decisive per rendere sempre più funzionale e sostenibile questo modello naturalistico, ecologico e paesaggistico per altre aree costiere mediterranee;

- Il recupero di condizioni paesaggistiche e di attività socio-economiche e culturali per il ristabilimento di rapporti ecosostenibili uomo-atmosfera;
- La realizzazione di speciali programmi di educazione ambientale al fine di rispondere alle domande dei giovani per un rapporto costruttivo tra ecosistema naturale ed ecosistema urbano.

L'attenzione per il futuro dei giovani ha costantemente accompagnato l'operato della Commissione secondo le indicazioni del Presidente Giorgio Napolitano, che non ha esitato ad accogliere nella Tenuta di Castelporziano migliaia di studenti delle scuole di ogni ordine e grado, per i quali è stato predisposto, in quest'ultimo decennio, adeguato materiale conoscitivo della rete dei percorsi didattico-naturalistici.

Al termine del suo mandato, la Commissione rivolge al Signor Presidente Giorgio Napolitano, il più sentito, fervido ringraziamento per il suo costante interessamento per fare sì che la Tenuta di Castelporziano mantenga tutto il suo valore, quale incomparabile patrimonio ambientale al servizio dell'Italia e dell'umanità.



Foto 1. Il Prof. Gian Tommaso Scarascia Mugnozza illustra al Sig. Presidente della Repubblica Giorgio Napolitano l'attività della Commissione Tecnico Scientifica della Tenuta di Castelporziano. Al centro, il Dr. Donato Marra, Segretario Generale della Presidenza della Repubblica.

Compendio

1. Clima ed atmosfera

Con l'obiettivo principale di definire, a scala locale e regionale, le variazioni della circolazione atmosferica, degli effetti che essa produce sul trasporto degli inquinanti e le conseguenze sulla vegetazione, nel periodo primaverile estivo 2007, è stata condotta una campagna sperimentale internazionale, coordinata dal CNR, per studiare le complesse relazioni tra atmosfera e biosfera.

A questo scopo una trentina di ricercatori, guidati da Franco Prodi, Giam-piero Maracchi, Domenico Vento, appartenenti, rispettivamente, all'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria (UCEA) del CRA, all'Istituto di Biometeorologia (IBIMET) del CNR a Firenze, al Centro di Ricerca per lo studio delle relazioni tra pianta e suolo (CRA-RPS) di Roma hanno rilevato i flussi di ozono utilizzando gli strumenti tecnici più moderni installati sopra una torre sperimentale di 35 m di altezza situata in prossimità della loc. Castello.

I dati rilevati indicano che le concentrazioni di ozono più alte si verificano in corrispondenza dei periodi caldi (superando anche le 60 ppb), seguendo il tipico andamento per cui l'ozono è formato durante il giorno, a causa di eventi fotochimici e precursori a prevalenza di origine urbana, per poi diminuire nelle ore notturne, grazie alla rimozione per reazioni chimiche in atmosfera e deposizioni su superfici fogliari o assorbimento stomatico.

Le misure sperimentali indicano, inoltre, che la foresta mista di Castelporziano rappresenta un importante "SINC" di ozono, che deve essere preso in considerazione quando si vuole analizzare il complesso dei benefici che le foreste urbane e periurbane apportano alla comunità.

Sono state anche effettuate le analisi dei flussi di carbonio e di acqua misurati nella lecceta di loc. Grotta di Piastra.

D'intesa con l'Osservatorio centro multidisciplinare per gli Ecosistemi costieri mediterranei è stata allestita una stazione meteorologica allo scopo di effettuare, in collaborazione con il gruppo di Biometeorologia del CRA, l'ISAFORM e IBAF del CNR, misure in continuo su base semi oraria, al fine di avere a disposizione dati temporali, necessari per interpretare l'effetto dei fattori di controllo sui parametri ecofisiologici. Dai primi dati dei flussi si evince che l'ecosistema di Grotta dissipa più calore in atmosfera sia nei periodi umidi che nel periodo estivo.

I flussi di calore latente rimarkano un maggior tasso di evapotraspirazione della lecceta di Grotta di Piastra nel periodo secco.

La realizzazione di un "data set" pluriennale consentirà di stimare parametri ecofisiologici della vegetazione in risposta ad eventi climatici estremi e di accertare se, a Castelporziano, l'ozono rappresenta un fattore limitante per l'assimilazione di carbonio.

L'importanza di proseguire la raccolta di dati sperimentali nel lungo termine al fine di caratterizzare gli effetti dei cambiamenti climatici sulla vegetazione è testi-



Foto 2. Stazione meteorologica in loc. Trafusa (L. Maffei).

moniato dall'inserimento della Tenuta Presidenziale di Castelporziano nel Long Term Ecosystem Research Network (LPR Italia) a partire dal 2008.

2. Risorse idriche

Al fine di determinare il grado di aridità del terreno in funzione delle condizioni ambientali è stato preso in esame l'ambiente pedoclimatico mediante l'impostazione del bilancio idrologico, in aree delimitate e recintate. L'impiego del sensore "THETA Probe Soil Moisture Sensor", che fornisce il contenuto idrico del terreno come per cento in volume, ha dato risultati più attendibili rispetto alla variazione della riserva idrica del terreno mediante l'impiego di formule climatiche empiriche.

La correlazione lineare riscontrata tra i valori sperimentali ottenuti con il metodo gravimetrico e i valori misurati direttamente con il sensore è, infatti, risultata significativa. Nella località Campo di Rota, l'umidità del terreno rilevata alla profondità di 100 cm ha sempre evidenziato la presenza dell'acqua utile nel periodo estivo ed una presenza di acqua libera nel periodo invernale.

Al fine di verificare le variazioni della spiaggia emersa e di valutare, nell'immediato retro spiaggia, la posizione e le eventuali variazioni nel tempo, dell'inter-

faccia fra la falda di acqua dolce e la sottostante di acqua salata, il Dip. Di Scienze della Terra dell'Università la Sapienza ha avviato una linea di ricerca per il monitoraggio morfo-sedimentologico e idrogeologico della fascia litorale della Tenuta.

Sono stati acquisiti ed elaborati i dati rilevati dalla rete di monitoraggio delle acque sotterranee della Tenuta, costituita da 14 piezometri ubicati presso la fascia costiera e dotati di sonde automatiche per il rilevamento, con frequenza oraria, della profondità del livello statico, della temperatura e della conducibilità elettrica dell'acqua di falda, nonché delle principali caratteristiche chimico fisiche delle acque.

Il costante controllo della risorsa idrica sotterranea consente di seguire, con un buon grado di approssimazione, l'evoluzione nel tempo e nello spazio, della posizione dell'interfaccia acqua dolce-acqua salata e di individuare le eventuali situazioni di squilibrio della falda.

Dal settembre 2007 sono state eseguite 28 campagne di rilevamento e tutti i dati raccolti dopo una prima revisione e verifica sono stati riversati nella banca dati dell'Osservatorio.

L'esame della serie continua dei dati per un periodo di 14 anni relativi alle acque sotterranee della Tenuta, ha messo in evidenza una marcata aridità nel periodo 2007-2008, conseguente alla diminuzione della ricarica meteorica, rilevata dalle stazioni meteorologiche.

I dati relativi agli ultimi due anni confermano infatti una generalizzata tendenza al progressivo abbassamento della falda, con ridotta oscillazione stagionale



Foto 3. Piscina naturale (S. Sebastì).



Foto 4. Fontanile in loc. Ponte Cerasolo (L. Maffei).

del regime piezometrico. In particolare, sono state individuate due aree in prossimità della fascia costiera di potenziale criticità: in loc. Ponte Fusano, nelle vicinanze di una stazione di pompaggio, è stata rilevata una lieve depressione piezometrica e in loc. Pantan di Lauro-Discobolo, è stato registrato un aumento della salinità delle acque, associata al progressivo abbassamento piezometrico. Per meglio caratterizzare le anomalie riscontrate nei due settori dell'acquifero, si prevede di integrare l'attività di monitoraggio con la realizzazione di un censimento degli utilizzi delle acque sotterranee all'interno della Tenuta e soprattutto lungo le aree di confine esterno.

3. Ecofisiologia vegetale

Al fine di affrontare il problema generale dell'adattamento ai cambiamenti climatici è stato riservato ampio spazio al monitoraggio dei microclimi che caratterizzano la diffusione delle diverse specie vegetali presenti nella Tenuta.

L'obiettivo specifico era quello di analizzare i cambiamenti a breve e medio termine, dovuti a fattori che agiscono ad ampia scala ed a fattori locali inerenti al disturbo antropico, attraverso un'accurata elaborazione statistica dei dati raccolti, per evidenziare le differenze tra le singole comunità, gli scarti tra i valori dei parametri microclimatici ed effettuare un confronto con il decennio precedente.

Sono quindi proseguite le ricerche sullo stato ecologico dei principali tipi di vegetazione forestale e delle associazioni arboree ed arbustive, comprese quelle sulle dune, che costituiscono una significativa barriera a protezione degli ambienti retrostanti.

I rilievi sono stati effettuati su 21 stazioni rappresentative delle formazioni boschive e dell'area dunale ed hanno riguardato la temperatura e l'umidità relativa dell'aria, la radiazione luminosa, espressa come PAR (Photosynthetic Active Radiation), la temperatura del suolo.

Rispetto al 2003, il parametro umidità del suolo indica una evidente tendenza alla xericità, in tutti i boschi. Le perdite più elevate di umidità si sono verificate nel Lauro-Carpinetto, che sembra più minacciato dalle alterazioni climatiche, poiché anche l'aumento di radiazione incidente appare del tutto insolito per una formazione chiusa, tendenzialmente sciafila.

Per quanto riguarda le specie sempreverdi, di cui sono stati analizzati i tratti fisiologici, morfologici ed anatomici, la riduzione dei tassi fotosintetici durante i periodi di maggiore aridità, è risultata piuttosto modesta in *Quercus ilex*, *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea latifolia*. Quest'ultima specie presenta una minore sensibilità alla temperatura per l'elevato valore di densità del mesofillo, che limita la traspirazione e pertanto potrebbe essere destinata ad una maggiore diffusione in futuro.

In sintesi, il microclima è risultato un valido strumento per definire e monitorare lo stato ecologico delle specie e delle comunità e per seguirne i cambiamenti temporali.



Foto 5. Fioritura di narcisi (L. Maffei).

Per verificare le modifiche della vegetazione è stata realizzata una mappa georeferenziata adattando, al territorio di Castelporziano, il reticolato di mappatura della Flora dell'Europa centrale, che consente di evidenziare in una griglia formata da 43 quadranti, la diversità della flora. Le specie presenti in ogni quadrante rappresentano una misura della densità, cioè del rapporto specie/area e della loro distribuzione. La matrice floristica specie/quadranti è stata successivamente trasformata in una matrice ecologica a cui sono stati applicati gli indicatori di Ellenberg e ad ogni specie sono stati attribuiti i valori di luce, temperatura, continentalità, umidità del suolo, acidità-R, nutrienti-N, salinità-S, allo scopo di ottenere informazioni ecologiche associate alla distribuzione della flora.

I dati raccolti su un campione di 456 specie indicano che il settore Ovest della Tenuta è caratterizzato dalla dominanza della vegetazione sclerofilla mediterranea, mentre i quadranti interni del settore Sud sono prevalentemente occupati dal querceto deciduo mesofilo.

La distribuzione delle specie rilevate è coerente con la vegetazione e con le caratteristiche ecologiche della griglia.

4. Rinnovazione degli ecosistemi forestali

Un tratto distintivo delle formazioni boscate della Tenuta è costituito dalla contemporanea presenza della maggior parte delle specie del genere *Quercus*, cioè: farnia, rovere, cerro, farnetto, leccio, sughera e delle relative forme ibride, accompagnate da una maggior diffusione di specie meno esigenti nei confronti delle risorse idriche, come quelle della macchia mediterranea.

La conservazione della biodiversità dipende, in gran parte, dalla possibilità di assicurare la rinnovazione del patrimonio forestale.

Attualmente, circa un quarto del territorio risulta privo di copertura da parte delle querce e ciò va ad aggiungersi alle aree critiche con insufficiente densità (al di sotto del 30%), che presentano scarse possibilità di rinnovazione naturale.

È evidente che in queste condizioni, la possibilità di conservazione del bosco misto di querce caducifoglie è fortemente compromessa ed il contrasto al predominio della specie xerofile risulta oltremodo complesso.

Dal punto di vista della conservazione della biodiversità, il forte ombreggiamento rappresenta un altro elemento negativo e soltanto nelle zone in cui le risorse idriche sono elevate è possibile prevedere il mantenimento delle querce caducifoglie.

Queste aree coincidono con i quadranti Sud della Tenuta, in cui la falda freatica ha subito un minore abbassamento (- 10 m loc. Tellinaro). Si tratta di un'ampia fascia compresa tra il fosso del Figurone e quello del Tellinaro, che segnava in passato il confine con Capocotta, in cui si ritrovano alcune tipologie strutturali che richiedono significativi interventi colturali.

L'avvio alla fustaia transitoria, dopo le ultime utilizzazioni avvenute negli anni 1912 - 1924 - 1936 - 1939, ha dato luogo ad un soprassuolo molto denso e la



Foto 6. Rinnovazione naturale di querce caducifoglie (A. Musicanti).

ricerca della luce ha fatto sì che i fusti crescano slanciati e privi di rami laterali per circa 6-10 m. La presenza del carpino assicura la copertura del suolo, ma è probabile che si debba intervenire mediante la ceduzione per ridurre la concorrenza nei confronti delle querce.

L'ampliamento delle chiome dovrebbe assicurare un'efficace diffusione del seme a garanzia della rinnovazione, che dovrà venire protetta dalla fauna selvatica per almeno 5-10 anni, mediante chiudende.

La mancanza di sfollamenti dopo la ceduzione ha portato alla formazione di strutture biplane con un folto sottobosco di carpino, che crea una drastica riduzione della luce.

Un altro problema che riguarda molti soprassuoli di querce caducifoglie è quello della diffusa senescenza.

A Campo di Rota, sono state effettuate alcune indagini sperimentali al fine di verificare la capacità di dispersione delle ghiande di cerro e di farnia dagli esemplari vetusti rimanenti, ma la pressione della fauna selvatica non ha consentito di trarre delle chiare conclusioni. È stato così necessario realizzare nel 2010 una chiudenda per stabilire le potenzialità di rinnovazione ed eseguire alcune prove di semina diretta delle ghiande, di piantagione di semenzali e di trapianti, nelle ampie chiarie in cui non erano ancora presenti il carpino o la macchia mediterranea.

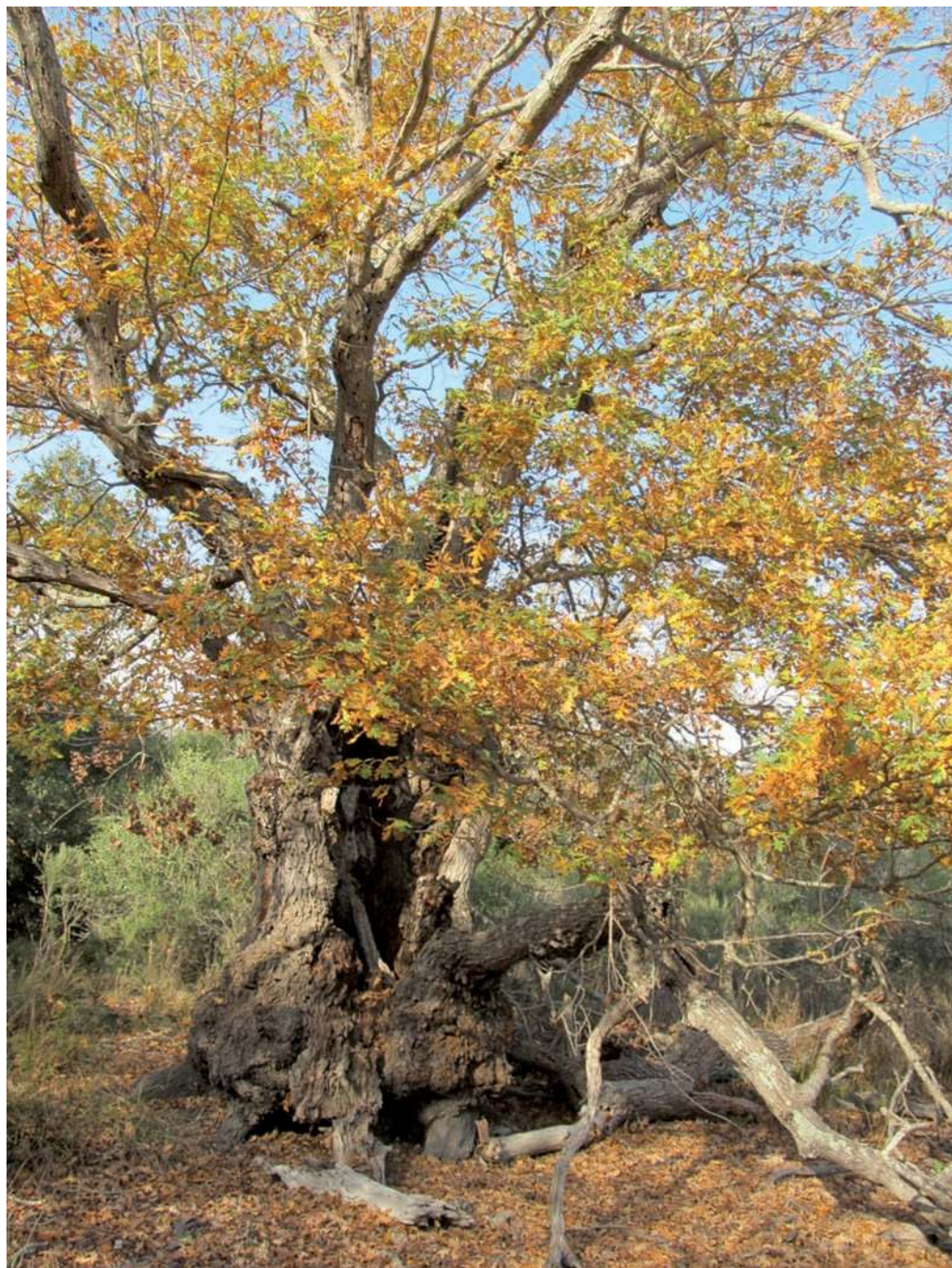


Foto 7. Quercia caducifolia (A. Tinelli).

Per la definizione delle condizioni più idonee alla rinnovazione sono state avviate numerose ricerche multidisciplinari volte a precisare l'esigenza di luce dei semenzali, nella fase che fa immediatamente seguito alla germinazione ed a quelle successive che si verificano nei novelletti.

Le indagini di taratura delle classificazioni degli humus in ambiente mediterraneo, adottando la classificazione fondata su una descrizione morfogenetica e sull'individuazione di orizzonti diagnostici, che sono rappresentativi delle forme presenti nelle diverse cenosi della Tenuta, hanno consentito di individuare la vasta area occupata dall'humus di tipo "Amphi" mediterraneo, presente nelle leccete e sotto le grandi querce, che si modifica in "Dysmull" fuori dalle chiome, mentre nelle cerete miste con *Quercus frainetto*, predomina il "Mull"; scarsamente presente, soprattutto nelle zone più umide, è il "Moder".

Come è stato messo in evidenza dalle ricerche del gruppo di lavoro sul suolo, la disponibilità idrica negli strati superficiali rappresenta un momento critico per la diffusione delle diverse specie, che hanno esigenze decrescenti dalla farnia al farnetto, dal cerro al leccio.

La presenza della sostanza organica ed il suo miglioramento, mediante la diffusione nel sottobosco del carpino e del leccio, può contribuire ad accrescere la capacità di resilienza dei soprassuoli, se, come previsto, si verificasse in futuro una riduzione delle precipitazioni ed un aumento delle temperature.

5. Fauna e zooplancton delle piscine

La Fauna rappresenta, come è noto, una delle maggiori attrattive della Tenuta e, fin dall'antichità, numerosi visitatori e studiosi hanno lasciato testimonianza della sua ricchezza, nelle relazioni di viaggio e nella letteratura scientifica.

Il monitoraggio della fauna occupa un posto preminente nella strategia per la conservazione della biodiversità ed in particolare di quella dei macro-invertebrati presenti nei biotopi astatici del litorale romano.

La Commissione Tecnico Scientifica, d'intesa con la Direzione della Tenuta e con il gruppo di lavoro guidato da Silvano Toso dell'Istituto Superiore di Ricerca per la Protezione Ambientale (ISPRA, sezione amministrativa di Ozzano Emilia, BO), ha predisposto i periodici aggiornamenti del Piano di Gestione degli ungulati selvatici. In base ai dati di densità gli indirizzi gestionali dovranno essere rivolti nel periodo 2010-2015 all'incremento della popolazione di Capriolo, al controllo della popolazione di Cervo, all'ulteriore riduzione della popolazione di Daino ed una forte riduzione di quella del Cinghiale.

Le comunità a macro invertebrati presenti in 36 bacini temporanei e in 24 permanenti, hanno formato oggetto di una ricerca, ormai ventennale, per valutare le eventuali differenze nella composizione faunistica, nella struttura in taglia e nell'organizzazione funzionale.

Sono state individuate le specie minacciate, vulnerabili, rare e quelle caratteri-



Foto 8. Martin pescatore (A. Tinelli).

stiche o esclusive delle piccole acque astatiche. In complesso, sono stati individuati 21 gruppi zoologici, rappresentati da 301 taxa, di cui circa il 70% identificati a livello specifico.

Gli insetti costituiscono l'80% della ricchezza tassonomica totale e tra questi dominano i Coleotteri (91 taxa) ed i Ditteri (90 taxa). Tra l'altro, sono state identificate 50 specie che possiedono esigenze ecologiche particolari e che possono venire considerate "specie bersaglio" in futuri controlli per la protezione dei vari biotopi.

Nell'ultimo decennio, le ricerche si sono indirizzate prevalentemente sulla Ditterofauna ed hanno portato alla segnalazione di 141 Taxa, dei quali 21 nuovi per l'Italia, che sono stati suddivisi in base agli habitat preferenziali di larve ed adulti.

Un'attenzione speciale è stata riservata ai Taxa con larve che si sviluppano nel legno marcescente degli alberi caduti o sotto le cortecce ed i cui adulti sono attratti dalla linfa e dalla resina degli alberi vivi. Le raccolte sono state effettuate in particelle georeferenziate di boschi di sughera, di leccio, di caducifoglie, ma anche in alcune praterie e piscine.

Il monitoraggio delle comunità ornitiche è proseguito facendo riferimento alle carte tematiche utili alla zonizzazione su basi naturalistiche di Castelporziano, predisposte da Alberto Fanfani e collaboratori, impiegando transetti lunghi 3 chilometri nelle varie tipologie vegetazionali.

Le osservazioni sono state effettuate durante 5 periodi stagionali, in modo da



Foto 9. Codoni, Alzavole e Mestoloni in una Zona Umida lungo la costa (A. Tinelli).



Foto 10. Giovane esemplare di Volpe (A. Tinelli).

poter rilevare la migrazione autunnale e primaverile e la fase riproduttiva. Tuttavia, i dati raccolti durante un solo anno non sembrano sufficienti per delineare un attendibile andamento delle varie comunità ed appaiono più opportuni rilievi triennali.

L'area boscata di Castelporziano-Capocotta assicura la riproduzione di specie ornitiche sensibili alla frammentazione del territorio, come il Picchio verde (*Picus viridis*), il Picchio rosso maggiore (*Dendrocopos major*) ed il Picchio rosso minore (*Dendrocopos minor*).

Le modifiche ambientali provocate ai margini della Tenuta dall'urbanizzazione e l'aumento del traffico veicolare agiscono negativamente sulle popolazioni di *Picidae* che appaiono più vulnerabili.

La presenza e l'abbondanza di ciascuna specie in Tenuta sono state rilevate mediante l'ascolto di segnali acustici territoriali.

In complesso, sono stati registrati su un'area di ha 6,25 densamente boscata, 164 risposte di picchio verde (28,1%), 328 di picchio rosso maggiore (56,3%) e 91 di picchio rosso minore (16,6%).

Le macchie alte di erica con piante sparse di sughera e farnetto sono sottoutilizzate dalle tre specie.

In quest'ultimo decennio, le variazioni che si sono verificate nella temperatura dell'aria e nella disponibilità idrica del suolo hanno agito in maniera sensibile sullo status degli Anfibi e dei Rettili presenti nella Tenuta. In passato era già stato segnalato un preoccupante segno di declino nella maggior parte delle specie igrofile o mesofile. Fanno eccezione tra gli anfibi *Hyla intermedia* e tra i rettili *Tarantola mauritanica*, *Podarcis* spp, *Elaphe quatuorlineata* e *Testudo hermanni*, che sono entità xerothermophile a più ampia valenza ecologica.

Questo comportamento sta ad indicare che gli ecosistemi di Castelporziano stanno assumendo le caratteristiche biotiche di ambienti caldo secchi e suggeriscono particolare prudenza nell'apportare modifiche ambientali, che possono rendere più rapida l'evoluzione in corso.

6. Bovini ed equini maremmani

Gli allevamenti zootecnici hanno avuto come è noto una lunga tradizione nella Tenuta, poiché risalgono all'epoca Romana. A partire dal 1970 è stato adottato un piano per dare un assetto stabile e qualificante all'allevamento di bovini ed equini di pregevole rusticità ed adattabilità all'ambiente semi arido. Ha avuto così inizio la costruzione di un centro stabile di selezione dei bovini maremmani, secondo gli indirizzi del Libro genealogico della razza e nel rispetto della tradizione del sistema dell'allevamento brado.

I problemi riguardanti l'allevamento di questa razza sono legati al meticciamiento dovuto ad incroci incontrollati ed al rischio di estinzione.

Tra i principali fattori ambientali che possono influire sul tasso di natalità e di gemellarità nei ruminanti è da considerare l'effetto stagionale che è correlato al



Foto 11. Bovino maremmano al pascolo (A. Tinelli).

fotoperiodo, alle temperature ambientali ed alla disponibilità di abbondanti foraggi freschi al momento dell'ovulazione.

Di recente è stato affrontato lo studio sulla gemellarità allo scopo di verificare l'effetto dell'alimentazione sul tasso di natalità e gemellarità. Come è noto, alcuni composti negli alimenti di origine vegetale mostrano un certo grado di interazione con il processo riproduttivo e tra questi i fitoestrogeni possono risultare negativi con riduzione temporanea o permanente della fecondità femminile. Gli esami condotti mediante il confronto tra diverse rimesse di pascolamento, nel periodo della monta, portano tuttavia ad escludere un effetto negativo di alcuni fitoestrogeni.

Nel 1985 è stato avviato d'intesa con la Regione Lazio uno specifico programma per la valorizzazione del nucleo di cavalli maremmani e hanno avuto inizio le ricerche agronomiche per la valutazione ed una migliore utilizzazione dei pascoli, per la scelta del giusto carico animale e per la modalità di conduzione dei turni.

7. Impatto antropico

Con l'obiettivo di monitorare gli effetti dell'impatto antropico è attivo nella Tenuta uno specifico gruppo di lavoro che rileva, con periodica cadenza, i principali parametri ambientali maggiormente suscettibili alle interazioni delle varie attività.

In considerazione della loro complessità e della destinazione d'uso del territorio sono stati presi in esame gli aspetti ecologici paesaggistici e funzionali. La scala

adottata per le diverse indagini è calibrata a seconda dell'elemento antropico e della sua capacità di perturbare l'ambiente, come ad esempio la crescente espansione delle infrastrutture a supporto dell'urbanizzazione che, negli ultimi decenni, ha interessato le aree limitrofe della Tenuta.

Un aspetto significativo emerge dagli studi recentemente eseguiti per identificare le persistenze ecologiche nel territorio del Comune di Roma, che hanno consentito di accertare come le superfici forestali presenti in Tenuta, costituiscano circa il 90% di tutte quelle che, dal 1950 ad oggi, presentano un'invariata destinazione d'uso. Tale aspetto risulta altamente qualificante in quanto testimonia che il territorio di Castelporziano custodisce cenosi ambientali con un elevato contenuto di naturalità, ormai uniche sul territorio Comunale. Infatti, l'analisi diacronica della rete delle aree protette, definita per salvaguardare le caratteristiche naturali dei territori, ha posto in evidenza che gli esemplari vegetali monumentali da tutelare, si possono rilevare con maggiore consistenza e densità solo nell'area di Castelporziano.

Una particolare indagine ha preso in considerazione gli aspetti urbanistici e demografici nel territorio circostante la Tenuta, per verificare l'evoluzione negli anni del Piano Regolatore Generale di Roma, la destinazione d'uso dei suoli, l'espansione delle aree occupate dall'abusivismo edilizio, valutate attraverso i Piani di Recupero, le domande di condono edilizio ed i progetti dell' ACEA e dell'Italgas per gli allacci dei servizi.

Specificata attenzione è stata rivolta alle trasformazioni del territorio del paesaggio della Campagna Romana, ai cambiamenti della linea di costa e del delta del Fiume Tevere, alle trasformazioni del sistema della vegetazione dunale e della idrografia in relazione alle opere di bonifica.

Le analisi degli insediamenti storici e dello sviluppo urbano hanno delineato i percorsi e la viabilità di collegamento, leggendo le caratteristiche del territorio attraverso gli elementi di continuità del paesaggio naturale e di quello antropico.

Inoltre, i flussi di traffico nelle principali arterie limitrofe alla Tenuta, rilevati per la determinazione dei livelli di inquinamento atmosferico ed acustico, indicano ampie variazioni mensili stagionali che riguardano circa 300.000 veicoli.

Un particolare approfondimento riguarda le attività che hanno provocato l'impermeabilizzazione del suolo, l'alterazione biotica delle aree agricole, la trasformazione recessiva della strutture della vegetazione e della composizione floristica ed infine il degrado della qualità dell'ambiente del mosaico territoriale delle aree naturali. Le conseguenze dell'impatto antropico, soprattutto nell'area Nord della Tenuta, richiedono interventi di mitigazione e l'impiego di barriere vegetali per valorizzare i punti panoramici.

Anche i viali alberati, quali elementi secolari del paesaggio di particolare valore monumentale, sono stati classificati in considerazione delle differenti tipologie presenti nel Piano di Gestione al fine di prevedere le priorità di intervento per la loro conservazione.

8. Qualità ecologica e paesaggio

Nell'assumere la presidenza della Commissione Tecnico Scientifica nel 1999, il Prof. Gian Tommaso Scarascia Mugnozza ritenne opportuno proporre un Piano di Gestione delle foreste che, superando i criteri tradizionali dei Piani di assestamento precedenti (1949-1997), rispondesse pienamente al regime di gestione per le aree naturali protette (legge 6 dicembre 91 n. 394). Veniva così costituito un gruppo di lavoro multidisciplinare con il compito di effettuare un'attenta verifica dei complessi ecosistemi forestali presenti nella Tenuta ed un'analisi storica dell'evoluzione del territorio.

Il confronto tra il catasto Alessandrino dell'anno 1636 con quello Gregoriano del 1835 ha indicato che, negli ultimi secoli, la destinazione prevalente dell'uso del suolo è stata rivolta ai pascoli, alle attività zootecniche ed a quelle venatorie, mentre le aree occupate dai boschi erano rimaste pressoché invariate.

Nel secolo scorso, gli eventi eccezionali verificatisi durante i periodi bellici (guerra di Libia 1911, prima guerra mondiale 1915-18 e secondo conflitto mondiale 1940-45) hanno dato l'avvio nei querceti ad utilizzazioni troppo intense. Non va dimenticato l'apporto dato dai boschi della Tenuta alle esigenze in fascine, legna da ardere e carbone, per far fronte alle necessità delle popolazioni, a cui vanno aggiunti i danni e gli incendi provocati dagli eserciti germanici ed alleati, che hanno presidiato a lungo l'area di Castelporziano, in occasione della liberazione di Roma.

Con l'avvento della Repubblica, il Segretariato Generale si è fatto carico del restauro del patrimonio delle Tenute, della ricostituzione dei boschi e della funzionalità dell'ecosistema forestale.

Nel 1985, con l'unificazione del sito di Capocotta al territorio di Castelporziano, la superficie ricoperta da boschi ha raggiunto 4.578 ha, pari a 75,7% della superficie totale della Tenuta.

L'analisi di carattere fotointerpretativo ha consentito la determinazione delle superfici per singola classe d'uso del suolo, e cioè: prevalenza del querceto e del bosco misto di latifoglie, circa 2.306,5 ha pari a 38%, e del querceto a macchia mediterranea a prevalenza di leccio, circa 816 ha pari a 13,5%; seguono le pinete, 752 ha pari a 12,4%, le sugherete, 461,5 ha pari a 7,6%, le formazioni di macchia mediterranea, 132,5 ha pari a 2,2%, le piantagioni speciali, 72,6 ha pari a 1,8%, e le formazioni igrofile, 39,6 ha pari a 0,6%. La restante superficie è rappresentata dal pascolo 112,6 ha, le zone agrarie 453 ha, le praterie aride 662 ha o zone aperte, mentre le aree residenziali e di servizio occupano circa 173 ha.

Dal 1954 l'intero territorio comprendente la Tenuta di Castelporziano è sottoposto al vincolo sulle bellezze naturali (legge 29 giugno 1939 n. 1497) a cui hanno fatto seguito numerose normative nazionali, regionali ed internazionali.

In particolare, tutta l'area di Castelporziano è stata indicata come Zona di Protezione Speciale (ZPS) ai sensi della DC 79/409 CEE ed all'interno della Tenuta sono stati individuati due Siti di Interesse Comunitario (SIC) in loc. Farnete (quer-

ceti igrofilii) ed in corrispondenza della loc. Grotta di Piastra (fascia costiera) e pertanto la Tenuta è stata inserita nella Rete Natura 2000.

Gli obiettivi del Piano di Gestione delle foreste sono quelli di annullare le conseguenze delle vicende storiche, dei differenti criteri adottati in passato, e di ristabilire il continuum vegetazionale dell'intera Tenuta. Sono stati quindi privilegiati gli aspetti naturalistici e paesaggistici, allo scopo di garantire l'efficienza dei diversi ecosistemi, di offrire capacità di rinnovazione, stabilità e sopravvivenza dei vari ecotipi, di mantenere l'equilibrio tra specie e classi d'età delle piante, di procurare resistenza alla pressione antropica crescente nei territori circostanti e di tutelare la conservazione della biodiversità.

Tali ambiziosi obiettivi, sono stati perseguiti avvalendosi di dati telerilevati in modalità diacronica di serie storiche di foto aeree e attraverso l'elaborazione di dati rilevati anche da immagini provenienti da piattaforme satellitari ad alta risoluzione.

L'individuazione delle cenosi forestali e di opportuni indici propri dell'ecologia del paesaggio hanno consentito un'analisi dello stato della frammentazione degli ambienti e della loro distribuzione nello spazio.

Nella predisposizione del Piano di Gestione forestale si è tenuto conto della zonizzazione ambientale e paesaggistica curata dal gruppo di lavoro coordinato da



Foto 12. Veduta del Castello (L. Maffei).



Foto 13. Fioritura in ambiente dunale (A. Tinelli).

Carlo Blasi, che ha definito e classificato le caratteristiche delle unità ambientali e degli ambiti omogenei individuabili nella Tenuta.

Questo piano di zonizzazione si articola in otto “zone A”, a protezione integrale e in undici “zone B” a riserva generale orientata, che complessivamente comprendono 75% della superficie della Tenuta, ed in “zone C” destinate ad attività agricola, pastorale, allevamenti, zone umide e piscine.

9. Elenco (checklist) degli organismi riscontrati a Castelporziano

Nel 2006 è stato pubblicato l'imponente lavoro coordinato da Alberto Fanfani, che ha reso disponibile l'elenco di organismi e microorganismi animali e vegetali rintracciati nella Tenuta di Castelporziano, attraverso le indagini di oltre duecento ricercatori che si sono dedicati allo studio della fauna e della vegetazione.

Il tasso di biodiversità è risultato particolarmente elevato, poiché comprende 5.039 specie così suddivise: Monera 8; Protisti 118; Funghi 722; Licheni 229; Piante 1.044; Animali 2.918 (2.380 insetti e 538 animali superiori).

Negli ultimi anni, la checklist è stata arricchita dalle entità tassonomiche riguardanti la classe degli *Hexapoda (Insecta)*, che vanno ad aggiungersi a quelli

precedentemente riportati. Si tratta di reperti inediti o in corso di pubblicazione, successivi al 2006 o comunque non ancora citati. L'ordine di successione dei gruppi tassonomici ed i riferimenti delle singole famiglie ad uno o più nominativi, figuranti come autori esclusivi o prevalenti sono gli stessi della checklist precedente.

10. L'Osservatorio centro multidisciplinare per lo studio degli Ecosistemi costieri mediterranei

Nell'ultimo, decennio l'attività dell'Osservatorio si è considerevolmente ampliata in seguito al proseguimento dei programmi di monitoraggio multidisciplinari in cui sono state coinvolte numerose Istituzioni scientifiche nazionali ed internazionali, secondo le linee indicate dalla Commissione Tecnico Scientifica.

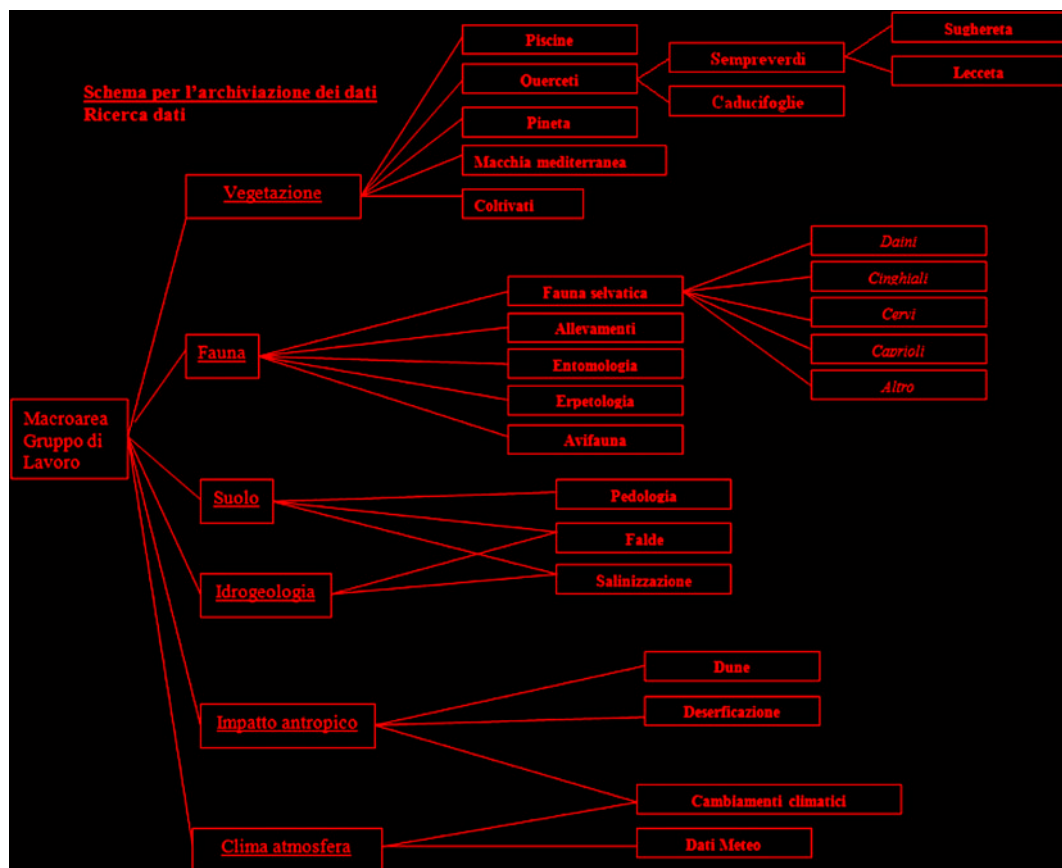


Foto 14. Schema di archiviazione dati dell'Osservatorio.

Dal 2008, la Tenuta è entrata a far parte della rete italiana della ricerca ecologica a lungo termine (LTER-ITALIA) coordinata dal CNR, in ragione della qualità e della continuità delle ricerche.

Un'altra importante iniziativa a cui l'Osservatorio partecipa attivamente, attraverso la banca dati, è l'infrastruttura europea Life Watch, che promuove la raccolta e lo scambio delle informazioni sulla biodiversità.

È proseguito il lavoro di coordinamento di tutte le attività di monitoraggio e di ricerca, svolte all'interno della Tenuta da decine di ricercatori appartenenti a varie Università ed Enti di ricerca italiani e stranieri, che fanno ricorso alla complessa rete di rilevamento dei dati meteorologici, degli inquinanti dell'aria, dell'acqua e del suolo.

L'elaborazione di questi dati da parte dell'Osservatorio consente la spazializzazione e realizzazione di carte tematiche georeferenziate (es. Carta della vegetazione, Carta delle piscine, Carta delle vulnerabilità ambientale, etc.).

La frequenza delle informazioni raccolte attraverso le reti di monitoraggio, fanno dell'Osservatorio un valido strumento a disposizione della Tenuta per la traduzione operativa in azioni gestionali volte a conservare la biodiversità e ad assicurare la corretta fruibilità del territorio ed a realizzare programmi di educazione ambientale dedicati ai giovani.

11. Conclusioni

I risultati dei programmi multidisciplinari di monitoraggio pongono in evidenza alcune condizioni critiche, che non mancheranno di influenzare la complessità degli ecosistemi nella Tenuta di Castelporziano.

Per quanto riguarda i movimenti delle correnti aeree provocati dalle differenze termiche con l'area metropolitana di Roma, il trasporto delle sostanze inquinanti e di particolato interessa una zona sempre più vasta del territorio, che si spinge fin oltre Civitavecchia. Tuttavia, gli ecosistemi forestali presentano una sensibile resilienza, come dimostrano le condizioni vegetative che appaiono, nel complesso, soddisfacenti nella maggior parte delle formazioni boschive e delle alberature.

Non si possono però trascurare alcune modifiche ambientali, come il progressivo accentuarsi dei periodi di siccità, che potrebbero determinare nel breve periodo sensibili cambiamenti nella vegetazione a scapito della presenza e della rinnovazione delle specie igrofile ed, in particolare dei querceti formati da specie caducifoglie, come la farnia, il farnetto, il cerro. La maggiore difficoltà è determinata dal fenomeno dell'abbassamento delle falde idriche, destinato ad accentuarsi nel tempo, in seguito all'eccessiva utilizzazione dell'acquifero nelle aree circostanti la Tenuta.

I dati raccolti presso l'Osservatorio, forniti dal monitoraggio mensile della rete piezometrica, indicano che si stanno rapidamente ampliando le zone di intrusione di acqua marina. Inoltre, le osservazioni ecofisiologiche condotte sulla vegetazione

del cordone dunale, confermano l'importanza di quest'ultimo a presidio delle zone interne e quindi la necessità della più attenta conservazione e del ripristino della copertura nelle aree maggiormente interessate dalle attività antropiche.

La ricostituzione dell'equilibrio nella circolazione idrica, anche se complesso, appare fondamentale per la protezione delle zone umide della Tenuta, nelle quali sono presenti habitat in cui vivono migliaia di specie animali e vegetali che rappresentano un patrimonio di biodiversità ancora parzialmente esplorato. A questo scopo, un particolare riconoscimento va rivolto al Segretario Generale della Presidenza Repubblica, Dott. Donato Marra, per aver sostenuto l'adesione della Tenuta al programma internazionale Life Watch, destinato ad inserire l'Osservatorio nella rete europea per la conservazione della biodiversità.

Per raggiungere questo obiettivo, assume particolare rilevanza anche l'aggiornamento del Piano di Gestione delle foreste, predisposto ed approvato dalla Commissione Tecnico Scientifica e trasmesso al Segretariato Generale, per dotare la Tenuta di uno strumento conoscitivo adeguato per la programmazione e la realizzazione degli interventi colturali. L'impiego delle immagini telerilevate con metodologia Lidar, fornite dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, ha dato l'avvio ad una proficua collaborazione con l'Unità di Ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale di Villazzano Trento (CRA). Grazie al favorevole rapporto tra le superfici caratterizzate da soprassuoli ad elevata componente naturalistica e superfici soggette ad alterazioni di natura antropica, l'analisi degli strumenti pianificatori indica che la qualità ambientale di Castelporziano ed in parte di Castelfusano risulta "Medio" e "Molto alta".

Va tenuto presente che l'espansione urbanistica, delle infrastrutture e della rete viaria al di fuori dei confini della Tenuta, rappresentano un fattore di rischio in termini di funzionalità del ruolo strategico finora svolto da Castelporziano nei confronti della rete ecologica territoriale.

La Tenuta, dai risultati delle ricerche condotte nei Comuni limitrofi appare quindi come un'isola con elevate caratteristiche di naturalità, in cui è sempre più difficile, soprattutto per la fauna, stabilire scambi con le aree naturali contigue. Quest'ultimo aspetto riveste particolare importanza, poiché l'isolamento degli ecosistemi comporta una loro maggiore vulnerabilità ai fattori biotici ed abiotici che ne possono mettere a rischio la conservazione.

In sintesi, le informazioni raccolte ed archiviate in quest'ultimo decennio presso la banca dati dell'Osservatorio, appaiono di grande utilità pratica per stabilire i limiti ecologici che dovranno venire rispettati per garantire la presenza di un patrimonio naturalistico, storico e culturale ormai unico lungo le coste del Mediterraneo.

La Diversità Ambientale e Paesaggistica nella Tenuta di Castelporziano.

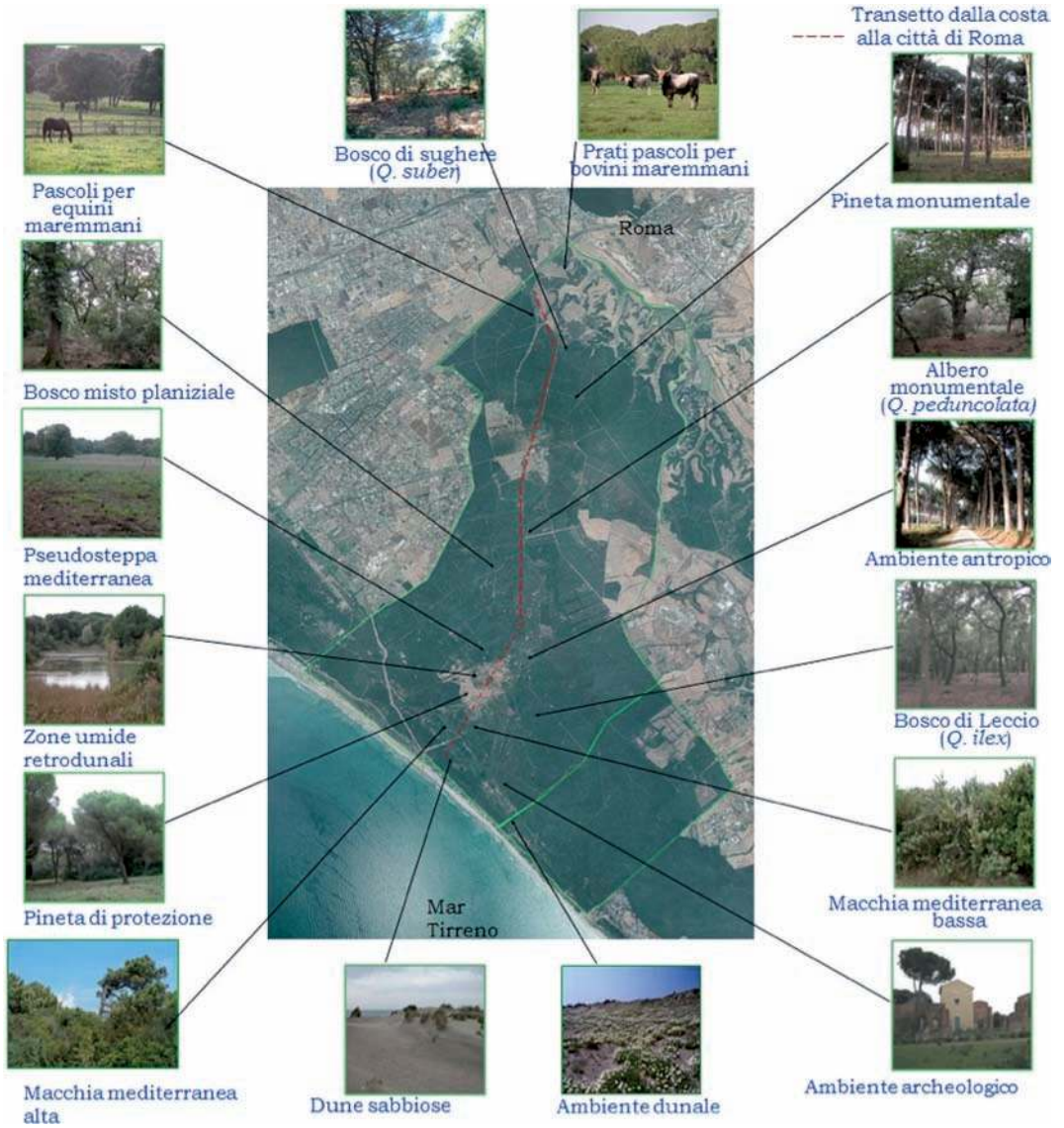


Foto 15. La diversità ambientale di Castelporziano.

**CIRCOLAZIONE ATMOSFERICA
E CARATTERISTICHE CLIMATICHE**

RITA AROMOLO¹ – FILIPPO ILARDI¹ – VALERIO MORETTI¹

**Caratterizzazione dei metalli pesanti
nelle deposizioni atmosferiche
nella Tenuta Presidenziale di Castelporziano.
Nota I**

Abstract – *Characterization of heavy metals in atmospheric deposition at Castelporziano Estate.* The study focuses on the exposure and the preliminary assessment of the main findings arising from the three-year monitoring of heavy metals in atmospheric deposition, wet and dry. The study of heavy metals into the atmosphere and atmospheric deposition is of great importance to check the impact of anthropogenic environmental sources and their absolute and potential toxicity to humans and other living organisms. Deductible information from a correct estimate of heavy metals are therefore crucial for the evaluation of the quality of the environment. The different trends of concentrations of heavy metals in a natural ecosystem, such as the Estate of Castelporziano, can be a very effective indicator of pollution to determine the factors influencing their spread and their spatial and temporal distribution. Preliminary analysis of depositions in various sites of the estate, highlights both the influence of anthropic impact and of transport processes in the short and long distance. This study will be continued with monthly and seasonal correlation with meteorological phenomena and also with the analysis of runoff water trees and the determination of other heavy metals indicators of specific sources of pollution, such as arsenic.

Key words: atmospheric deposition, heavy metal.

Sommario – Lo studio riguarda l'esposizione e la valutazione preliminare dei principali risultati derivanti dall'attività triennale di monitoraggio dei metalli pesanti nelle deposizioni atmosferiche, umide e secche. Lo studio dei metalli pesanti nell'atmosfera e nelle deposizioni atmosferiche è di notevole importanza per verificare l'impatto delle diverse fonti antropogeniche sull'ambiente e la loro tossicità assoluta e potenziale per l'uomo e gli altri organismi viventi. Le informazioni deducibili da una stima corretta dei metalli pesanti sono quindi cruciali per la valutazione della qualità dell'ambiente. I diversi andamenti delle concentrazioni di metalli pesanti in un ecosistema naturale, quale la Tenuta di Castelporziano, possono

¹ Centro di Ricerca per lo Studio delle relazioni tra pianta e suolo - Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura (CRA-RPS), via della Navicella 2/4, 00184 Roma.

costituire un indicatore di inquinamento molto efficace per stabilire i fattori che influenzano la loro diffusione e la loro distribuzione spaziale e temporale. L'analisi preliminare delle deposizioni nei vari siti della Tenuta, evidenzia sia l'influenza dell'impatto antropico, sia quella dei processi di trasporto a breve e a lunga distanza. Questo studio verrà proseguito con ulteriori approfondimenti derivanti, oltre che dalla prosecuzione del monitoraggio, dallo studio dettagliato dei flussi mensili e stagionali in correlazione con i fenomeni meteorologici coincidenti con il periodo di campionamento e con i risultati ottenuti mediante l'analisi delle acque di dilavamento degli alberi e la determinazione di altri metalli pesanti indicatori di fonti specifiche di inquinamento, quale ad esempio l'arsenico.

Parole chiave: deposizioni atmosferiche, metalli pesanti.

Introduzione

Il monitoraggio della deposizioni atmosferiche umide e secche costituisce uno dei metodi più immediati per ottenere informazioni sui meccanismi di rimozione delle sostanze inquinanti presenti in atmosfera e correlabili con i processi ambientali ed antropici che vi intervengono. La rimozione degli inquinanti dall'atmosfera può avvenire per via umida o secca. La deposizione umida è associata ad eventi meteorici, riguarda l'interazione con l'acqua atmosferica, si verifica anche in zone lontane dalla sorgente e consta essenzialmente di due fasi: un processo di trasferimento degli inquinanti in fase acquosa o di inglobamento delle particelle nelle goccioline che costituiscono la nube per nucleazione, e la successiva rimozione per impatto diretto (rainout) o per trascinarsi degli inquinanti sottostanti la nube durante l'evento meteorico (washout). Il processo di deposizione secca consiste nella rimozione degli inquinanti atmosferici in assenza di precipitazione ed è dovuto al trasferimento dell'inquinante, dallo strato turbolento sovrastante la superficie recettiva allo strato immediatamente in contatto con essa. Gli effetti aerodinamici e, in generale, la velocità di deposizione, che aumenta all'aumentare della turbolenza e dipende dalle caratteristiche della superficie, sono responsabili del trasporto di gas e particelle in prossimità della superficie.

La deposizione di elementi inquinanti di diversa origine sul territorio della Tenuta, può incidere sulla possibilità di crescita e di sviluppo della vegetazione, in quanto tali elementi possono influenzare i processi fotosintetici, gli scambi gassosi a livello fogliare e il metabolismo radicale sia per gli esemplari esistenti che per le giovani plantule e, non potendo essere degradati o distrutti, possono bioaccumularsi [1]. Il monitoraggio intende quindi tenere sotto controllo i composti che possono incidere sui processi di acidificazione del suolo e le deposizioni di tutti quegli elementi tossici o comunque indesiderati per la vegetazione [3]. Le informazioni deducibili dallo studio dei metalli pesanti che raggiungono il suolo mediante i processi di deposizione atmosferica, possono costituire un valido indicatore per la valutazione della qualità ambientale [2], in quanto le particelle a cui tali metalli sono associate, possono essere trasportate, dalla fonte di emissione, per lunghe distanze,

anche in situazioni ambientali protette come la Tenuta Presidenziale di Castelporziano, poco influenzata dall'impatto di attività antropiche interne, ma interessata dalla vicinanza all'area urbana, a strade ad elevato traffico veicolare e ad aeroporti internazionali [5]. Lo studio dei metalli pesanti nell'atmosfera e nelle deposizioni atmosferiche è di notevole importanza per verificare l'impatto delle diverse fonti antropogeniche sull'ambiente e la loro tossicità assoluta e potenziale per l'uomo e gli altri organismi viventi. I diversi andamenti delle concentrazioni di metalli pesanti in un ecosistema naturale, quale la Tenuta di Castelporziano, possono costituire quindi un indicatore di inquinamento molto efficace [4] per stabilire i fattori che influenzano la loro diffusione e la loro distribuzione spaziale e temporale.

Metodi e tecniche

Il monitoraggio triennale è stato svolto in tre differenti siti:

- Tor Paterno, situato in prossimità della costa, a circa 300 m di distanza dal mare, influenzato dalla brezza marina e da emissioni antropogeniche di varia natura.
- Castello, situato in posizione interna alla Tenuta, nelle cui immediate vicinanze si trovano la maggior parte degli uffici, la caserma della Guardia Forestale, i giardini della Tenuta, le serre e attività varie.
- Trafusa, ubicata al confine nord della Tenuta, in prossimità di una strada ad intenso traffico veicolare.

Nei tre siti sono ubicate tre stazioni meteorologiche con campionatori di tipo wet and dry e campionatori Dry Deposition on Aquatic Surface (DDAS). I campionatori wet and dry sono stati installati nel 1992 a Trafusa e a Torpaterno e permettono di raccogliere sia la deposizione umida che quella secca. La parte wet del campionatore si apre solo in presenza di precipitazioni atmosferiche. Ciò avviene grazie a un sensore di pioggia collegato con un motore elettrico che aziona il sistema di copertura e apre il contenitore pochi secondi dopo l'inizio dell'evento meteorico. In questo modo viene garantita la raccolta della sola deposizione umida, mentre quella secca viene raccolta in continuo durante i periodi non piovosi. Il campionatore DDAS è stato installato nel 1997 a Tor Paterno e nel 1999 a Castello. Il DDAS espone all'atmosfera un'interfaccia acquosa di area pari a $0,0531 \text{ m}^2$ ed è costituito da un recipiente in cui l'acqua viene mantenuta ad un livello costante di circa 2 cm mediante dei sensori ottici e una pompa peristaltica, per la raccolta delle deposizioni secche, ed un sensore di precipitazione che aziona la copertura, proteggendo in caso di evento meteorico, il recipiente di raccolta del secco e permettendo la raccolta della deposizione umida (Foto 1).

È stato dimostrato che il DDAS è molto più efficace dei campionatori dry che utilizzano una superficie solida come recettore, in quanto permette di valutare sia il contributo delle specie adsorbite sul particolato atmosferico sia la maggior parte



Foto 1. Campionatori per le deposizioni atmosferiche tipo DDAS e Wet&Dry installati in località Tor Paterno.

degli inquinanti gassosi che sono adsorbiti dallo strato acquoso secondo la legge di Henry e, per questo motivo, è particolarmente idoneo per la determinazione degli elementi presenti in tracce [6].

La misura delle concentrazioni di metalli in tracce nelle deposizioni umide e secche richiede un protocollo di campionamento e di analisi molto accurato, per evitare qualsiasi fonte di contaminazione. I campioni vengono prelevati ogni quindici giorni, filtrati, acidificati o mineralizzati, per quanto riguarda il residuo secco del filtrato ed analizzati.

La tecnica analitica utilizzata è l'ICP-AES, spettrometro ad emissione ottica al plasma, in grado di analizzare simultaneamente i vari elementi.

Risultati e discussione

I valori delle concentrazioni delle deposizioni secche, nei tre siti esaminati, sono molto più elevati rispetto a quelli delle deposizioni umide. Infatti con le deposizioni secche si raccoglie tutto il particolato che ricade al suolo, mentre per le deposizioni umide si deve tenere conto della capacità di trattenuta del materiale depositato.

Castello

Gli andamenti, nel triennio considerato, delle concentrazioni di metalli pesanti e di micro e macro elementi nelle deposizioni umide della stazione di Castello (fig. 1, 2, 3), mostrano un aumento in primavera e in autunno soprattutto per il calcio, il sodio, il magnesio, il fosforo, il ferro, il manganese e lo zinco.

Nelle deposizioni secche i valori dei macro elementi sono più elevati durante tutto l'anno, mentre il rame, il ferro e il fosforo mostrano concentrazioni maggiori durante il periodo estivo. Lo zinco presenta valori più elevati sia nel mese di gennaio sia durante il periodo estivo, insieme al manganese. In questo sito si evidenzia l'influenza dell'impatto antropico, dovuto alle polveri terrigene sollevate dal traffico veicolare su strade non asfaltate, dalle pratiche agricole effettuate nelle vicinanze, dagli inquinanti emessi da impianti di riscaldamento e inceneritori di rifiuti, collegati anche a fenomeni di trasporto a lunga distanza.

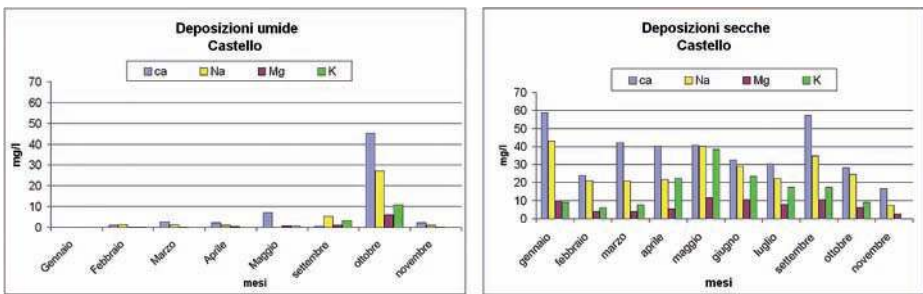


Fig. 1. Andamento delle concentrazioni medie (tre anni monitoraggio) di macroelementi nelle deposizioni umide e secche di Castello.

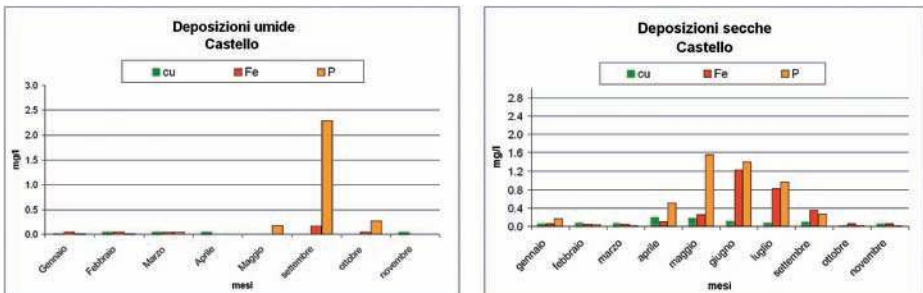


Fig. 2 - Andamento delle concentrazioni medie (tre anni monitoraggio) di rame, ferro e fosforo, nelle deposizioni umide e secche di Castello.

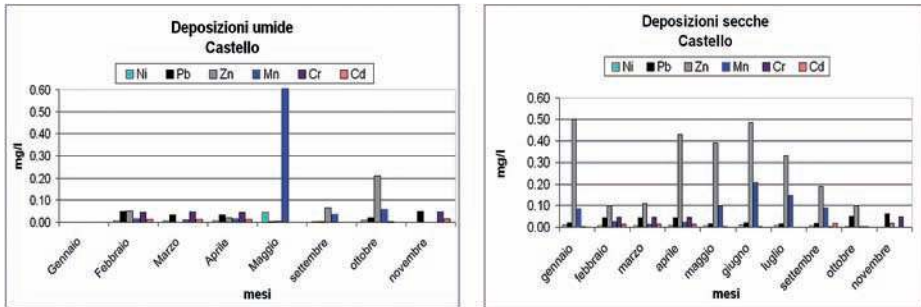


Fig. 3. Andamento delle concentrazioni medie (tre anni monitoraggio) di microelementi nelle deposizioni umide e secche di Castello.

Tor Paterno

Per quanto riguarda il sito di Tor Paterno, si evidenzia l'influenza dell'aereosol marino, con una maggiore incidenza di calcio, sodio e magnesio rispetto agli altri elementi. Nelle deposizioni secche, oltre agli elementi già citati, si riscontrano valori più elevati, in confronto agli altri metalli, di zinco e, in misura minore, di cromo e piombo (fig. 4, 5, 6). Questo andamento probabilmente è da attribuirsi alla vicinanza di una strada litoranea per cui sono più probabili fenomeni di inquinamento locale da traffico veicolare e di trasporto a lunga distanza di inquinanti di origine antropica, per l'influenza della Centrale termoelettrica di Civitavecchia, a causa del regime di venti legato alle brezze marine.

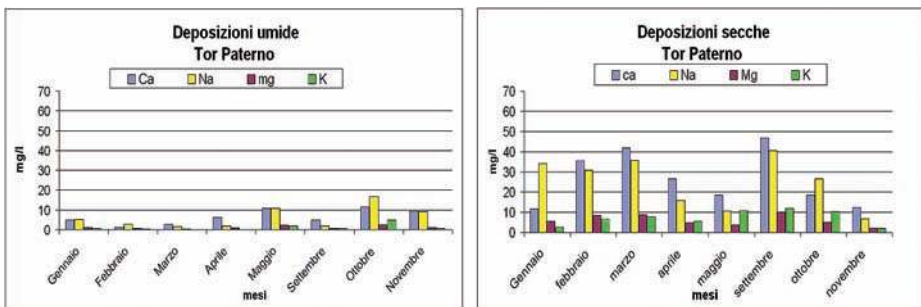


Fig. 4. Andamento delle concentrazioni medie (tre anni monitoraggio) di macroelementi nelle deposizioni umide e secche di Tor Paterno.

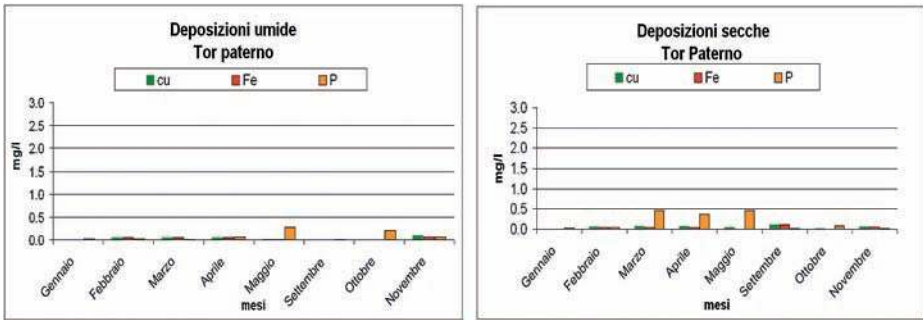


Fig. 5. Andamento delle concentrazioni medie (tre anni monitoraggio) di rame, ferro e fosforo, nelle deposizioni umide e secche di Tor Paterno.

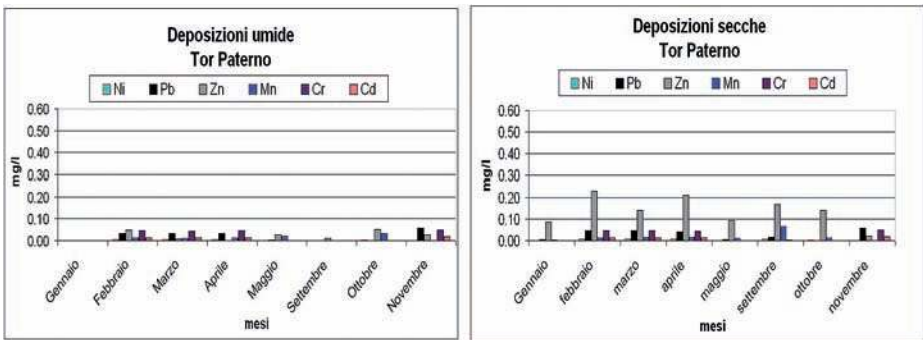


Fig. 6. Andamento delle concentrazioni medie (tre anni monitoraggio) di microelementi nelle deposizioni umide e secche di Tor Paterno.

Trafusa

Nella stazione di Trafusa si riscontra un andamento differente rispetto agli altri due siti: i macro elementi hanno concentrazioni più basse sia nelle deposizioni umide che secche, mentre il fosforo si ritrova in discreta concentrazione nelle deposizioni umide e secche, probabilmente a causa della frequente presenza di deiezioni animali causate dal passaggio di bovini. Per quanto riguarda i microelementi, si evidenzia la presenza di zinco, ed in misura minore rispetto alle precedenti ricerche, piombo e cromo, dovuta all'adiacenza di una strada ad intenso traffico veicolare (fig. 7, 8, 9).

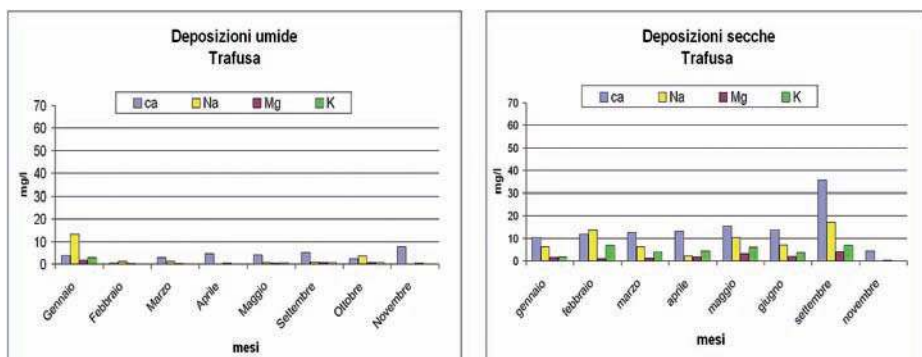


Fig. 7. Andamento delle concentrazioni medie (tre anni monitoraggio) di macroelementi nelle deposizioni umide e secche di Trafusa.

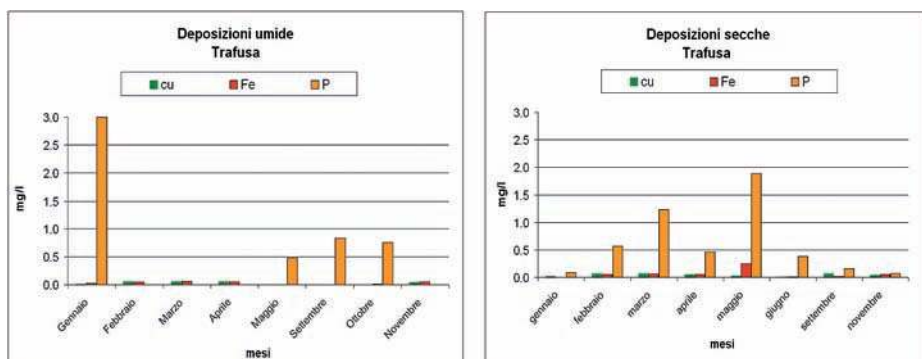


Fig. 8. Andamento delle concentrazioni medie (tre anni monitoraggio) di rame, ferro e fosforo, nelle deposizioni umide e secche di Trafusa.

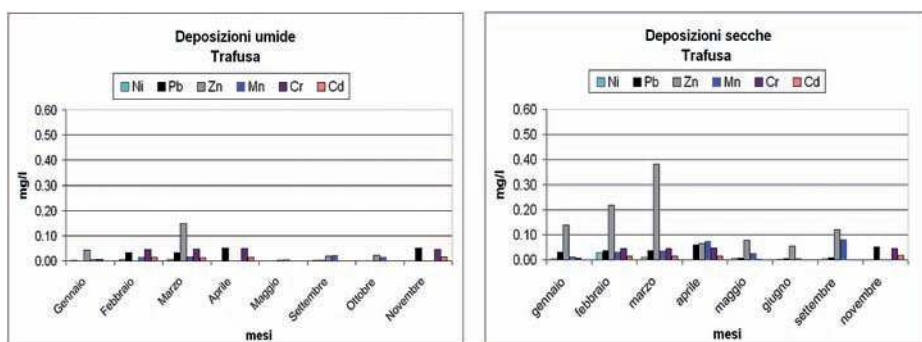


Fig. 9. Andamento delle concentrazioni medie (tre anni monitoraggio) di microelementi nelle deposizioni umide e secche di Trafusa.

Conclusioni

La valutazione preliminare dell'andamento delle concentrazioni di metalli pesanti e macro elementi in tre siti con differenti caratteristiche, all'interno della Riserva naturale protetta di Castelporziano, ha permesso di evidenziare sia l'influenza dell'impatto antropico, sia quella dei processi di trasporto di inquinanti a breve e a lunga distanza. In considerazione infatti della loro diversa ubicazione e dei differenti fattori che influenzano le deposizioni atmosferiche, le tre stazioni mostrano andamenti di concentrazioni di metalli pesanti caratteristici per ciascuna di esse. Le concentrazioni più elevate di elementi si ritrovano nella stazione di Castello, maggiormente influenzata dalla vicinanza di attività umane e agricole. Torpaterno risente invece della vicinanza alla costa e del trasporto di inquinanti a lunga distanza, mentre nella stazione di Trafusa si nota l'impatto dato dal passaggio di animali e dalla vicinanza di una strada intensamente trafficata. Anche se le emissioni di metalli pesanti sono significativamente diminuite nel corso degli ultimi anni, grazie alla messa al bando del piombo dalle benzine e a miglioramenti tecnologici nel controllo delle emissioni, essi sono ancora presenti nell'atmosfera, spinti anche a grande distanza dalle loro fonti di emissione dal trasporto atmosferico.

Lo studio dei metalli pesanti nell'atmosfera e nelle deposizioni atmosferiche è quindi di notevole importanza per verificare l'impatto delle diverse fonti antropogeniche sull'ambiente e la loro tossicità assoluta e potenziale per l'uomo e gli altri organismi viventi. Le informazioni deducibili da una stima corretta dei metalli pesanti [7] sono cruciali per la valutazione della qualità dell'ambiente. Per tale motivo i diversi andamenti delle concentrazioni di metalli pesanti in un ecosistema naturale, quale la Tenuta di Castelporziano, possono costituire un indicatore di inquinamento molto efficace per stabilire i fattori che influenzano la loro diffusione e la loro distribuzione spaziale e temporale e ci dimostrano come questi elementi possono costituire traccianti di contaminazione [8] per individuare sia la loro diffusione e distribuzione nell'ambiente, sia la fonte di provenienza e le interazioni con diversi corpi recettori. Questo studio verrà proseguito con ulteriori approfondimenti derivanti, oltre che dalla continuazione del monitoraggio, dall'analisi dettagliata dei flussi mensili e stagionali in correlazione con i fenomeni meteorologici coincidenti con il periodo di campionamento e con i risultati ottenuti mediante l'analisi delle acque di dilavamento degli alberi e la determinazione di altri metalli pesanti indicatori di fonti specifiche di inquinamento, quale ad esempio l'arsenico.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica, la Direzione della Tenuta di Castelporziano, la Commissione Tecnico-Scientifica di Castelporziano, l'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL e l'Osservatorio centro multidisciplinare per gli Ecosistemi costieri mediterranei per aver consentito lo svolgimento di questi studi e la pubblicazione dei dati ottenuti.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Aromolo R., Benedetti A., Fiorelli F., Francaviglia R., Gataleta L., Marchionni M., Morselli L., 1999. Approccio metodologico allo studio integrato dei metalli pesanti nell'ambiente. Atti della Conferenza Organizzativa Inquinamento del suolo da metalli pesanti, 8. 6-7 maggio, Sassari.
- [2] Aromolo R., Benedetti A., Fiorelli F., Francaviglia R., Gataleta L., Marchionni M., Morselli L., 1999. Valutazione interdisciplinare della vulnerabilità all'acidificazione e della qualità dei suoli della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Atti del V Congresso Nazionale di Chimica Ambientale SCI, 52-53. 8-11 giugno, Lerici.
- [3] Francaviglia R., Aromolo R., Gataleta L., Morselli L., Brusori B., Passarini F., Novo A., Olivieri P., 2001a. Monitoraggio delle deposizioni atmosferiche umide e secche presso la Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Collana Scritti e Documenti XXVI, 331-341.
- [4] Francaviglia R., Gataleta L., Marchionni M., Aromolo R., Benedetti A., Morselli L., Brusori B., Olivieri P., 2001b. Valutazione della vulnerabilità all'acidificazione e della degradazione microbiologica dei suoli della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Collana Scritti e Documenti XXVI, 377-395.
- [5] Francaviglia R., Gataleta L., Marchionni M., Trinchera A., Aromolo R., Benedetti A., Morselli L., Brusori B., Olivieri P., 2004. Soil quality and vulnerability at a Mediterranean natural ecosystem of Central Italy. *Chemosphere* (55) 3: 455-466.
- [6] Morselli L., Iannuccilli A., Barilli L., Olivieri P., Francaviglia R., Aromolo R., Di Carlo V., 1998. A methodological proposal for the monitoring of atmospheric depositions and evaluation of critical loads exceedences. *Annali di Chimica*, 88, 645-655.
- [7] Morselli L., Barilli L., Olivieri P., Cecchini M., Aromolo R., Di Carlo V., Francaviglia R., Gataleta L., 1999. Heavy metals determination in dry surrogate depositions. Characterization of an urban and a natural site. *Annali di Chimica*, 89, 739-746.
- [8] Morselli L., Brusori B., Passarini F., Francaviglia R., Gataleta L., Marchionni M., Aromolo R., Benedetti A., Olivieri P., 2004. Heavy Metals Monitoring at a Mediterranean Natural Ecosystem of Central Italy. *Trends in Different Environmental Matrixes. Environment International*, 30, 173-181.

SILVANO FARES¹ – GIORGIO MATTEUCCI^{2,3} – ELENA PAOLETTI⁴
FRANCESCO LORETO⁴ – ARIANNA MORANI³ – VALERIO MORETTI¹
TIZIANO SORGI¹ – FILIPPO ILARDI¹
GIUSEPPE SCARASCIA MUGNOZZA¹

**I siti sperimentali all'interno
della Tenuta Presidenziale di Castelporziano:
opportunità per testare la capacità di rimuovere
carbonio e ozono dall'atmosfera da parte
delle foreste mediterranee periurbane**

Abstract – *The experimental sites inside the Castelporziano Presidential Estate: opportunity to investigate multifunctional aspects of peri-urban Mediterranean forests.* Mediterranean forests near urban areas are particularly vulnerable to pollutants such as ground-level ozone. While these forests can remove it through stomatal and non-stomatal processes, on the other hand they are damaged as a result of the oxidizing power of these pollutants. The Presidential Estate of Castelporziano is located 25 km from the center of Rome, on the coast of the Tyrrhenian sea, therefore it is an ideal site to study the interactions between forests and urban environment, given its size (about 6000 hectares) and proximity to the great metropolis of Rome. In this paper we report the results of two studies carried out on the estate, in the Castello and Grotta di Piastra sites in the years 2011 and 2012. The research was undertaken to characterize the deposition of ozone and ecophysiological parameters of forest vegetation represented by a mixed forest dominated by *Quercus suber*, *Quercus ilex*, *Pinus pinea* for the first site, and *Quercus ilex* for the second site. The results show changes in the dynamics of ozone fluxes during the transition from a warm (September) to a cold period (October to December). The stomatal component of ozone fluxes accounted for only 50% of the total deposition of ozone during hot days, suggesting an important role of Biogenic

¹ Centro di Ricerca per lo Studio delle relazioni tra pianta e suolo - Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura (CRA-RPS), Roma.

² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per i Sistemi Agricoli e Forestali del Mediterraneo, Rende (CS).

³ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale, Roma.

⁴ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la Protezione delle Piante, Firenze.

Volatile Organic Compounds (BVOC) in removing tropospheric ozone through chemical reactions in the gas phase. We present also the carbon fluxes in the site Grotta di Piastra collected in 2012, along with a comparison with the data set collected from the University of Tuscia in the years 2001-2006 in the nearby experimental site of Scoponcino, belonging to the FluxNet network. The preliminary data collected at Grotta di Piastra confirm the important role of vegetation in removing carbon from the atmosphere. The fact that the Castelporziano Presidential Estate is included in the Long Term Ecosystem Research network (LTER – Italy) points clearly to the importance of continuing to collect experimental data in the long term in order to characterize the effects of climate change on Mediterranean vegetation.

Key words: ozone, Mediterranean forest, pollution, ecophysiology, carbon sequestration.

Sommario – Le foreste mediterranee vicino alle zone urbane sono particolarmente esposte a inquinanti quali l’ozono troposferico. Se da un lato queste foreste riescono a rimuoverlo attraverso processi stomatici e non-stomatici, dall’altro ricevono un danno a causa del potere ossidante di tali inquinanti. La Tenuta Presidenziale di Castelporziano è situata a 25 km dal centro di Roma, sulla costa del Mar Mediterraneo, e rappresenta un sito di studio ideale per comprendere le interazioni tra ambiente urbano e foreste, data la sua estensione (circa 6000 ettari) e vicinanza alla grande metropoli romana. In questo contributo si riportano i risultati di due ricerche svolte all’interno della Tenuta, in località Castello e Grotta di Piastra negli anni 2011 e 2012. Le ricerche sono state intraprese per caratterizzare le deposizioni di ozono e i parametri ecofisiologici della vegetazione forestale composta da bosco misto dominato da *Quercus suber*, *Quercus ilex*, *Pinus pinea* per il primo sito, e lecceta per il secondo sito. I risultati mostrano cambiamenti nella dinamica dei flussi di ozono nel periodo di transizione da un ambiente caldo (settembre) ad un periodo freddo (ottobre-dicembre). La componente stomatica dei flussi di ozono ha rappresentato solo il 50% della deposizione totale di ozono durante i giorni caldi, suggerendo un ruolo importante dei Composti Organici Biogenici Volatili (BVOC) nel rimuovere ozono troposferico attraverso reazioni chimiche in fase gassosa. Vengono inoltre mostrati i flussi di carbonio nel sito di Grotta di Piastra, anche con un confronto con il dataset raccolto dall’Università della Tuscia negli anni 2001-2006 nel sito sperimentale di Scoponcino, appartenente alla rete globale FluxNet. Questi dati preliminari confermano il ruolo importante della vegetazione nel rimuovere carbonio dall’atmosfera. L’inserimento della Tenuta Presidenziale di Castelporziano nel programma Long Term Ecosystem Research network (LTER – Italia) indica chiaramente l’importanza di proseguire a raccogliere dati sperimentali nel lungo termine al fine di caratterizzare gli effetti dei cambiamenti climatici sulla vegetazione mediterranea.

Parole chiave: ozono, foresta mediterranea, inquinamento atmosferico, ecofisiologia, sequestro del carbonio.

Stato dell’arte e criticità delle foreste periurbane

La foresta urbana viene definita come l’insieme della vegetazione arborea e arbustiva presente all’interno e nell’intorno di densi insediamenti urbani [7]. Appare quindi chiaro come questa particolare tipologia di foresta presenti significative differenze con una foresta tradizionale. Gli alberi di ambiente urbano e

periurbano contribuiscono al miglioramento delle condizioni ambientali urbane, grazie ai loro molteplici effetti di mitigazione e alle loro proprietà ecologiche e ambientali [6]. Gli alberi infatti influenzano il microclima delle aree abitate: grazie all'effetto sulla riduzione della velocità del vento impediscono un eccessivo raffreddamento in inverno, mentre in estate, attraverso l'evapotraspirazione e l'ombreggiamento, contribuiscono alla diminuzione della temperatura (riduzione dell'effetto isola di calore). Ciò determina un notevole risparmio energetico dovuto al minor utilizzo di riscaldamento in inverno e di condizionatori in estate. Inoltre, riducono il rumore (seppur in misura limitata) e il ruscellamento dovuto alla grande percentuale di superficie impermeabilizzata; assorbono anidride carbonica (CO_2), fissando carbonio nei tessuti; migliorano la qualità dell'aria rimuovendo dall'atmosfera inquinanti quali ad esempio l'ozono (O_3), il biossido di azoto (NO_2), il monossido di carbonio (CO), l'anidride solforosa (SO_2) e il particolato (PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$) attraverso assorbimento stomatico e/o deposizione sui tessuti arborei (foglie, rami, tronco); riducono l'erosione del suolo; consolidano gli argini fluviali; purificano le acque grazie alle loro proprietà di fitodepurazione; migliorano la qualità della vita in ambiente urbano [6]. L'entità degli effetti benefici prodotti è legata a fattori quali: le dimensioni dei popolamenti arborei, la loro posizione e configurazione rispetto agli edifici, la distanza tra gli alberi, l'estensione e l'altezza delle chiome, la densità fogliare e la sua persistenza. Considerando questi aspetti, gli alberi diventano una fonte di arricchimento ambientale, paesaggistico ed economico per le amministrazioni, piuttosto che un costo ed un problema da sostenere.

L'utilizzo della vegetazione arborea ed arbustiva per il miglioramento della qualità dell'aria, e non solo, all'interno del sistema urbano si è inizialmente diffuso in Nord America, poi soprattutto nei paesi dell'Europa del centro-nord. Gli Stati Uniti possono vantare già quasi trent'anni di studi e pubblicazioni di carattere tecnico-scientifico relativi alla foresta urbana e ai benefici da essa prodotti. In Europa, l'interesse e le ricerche sono cresciute nel recente passato grazie soprattutto allo European Forum on Urban Forestry che agisce sotto l'egida dello IUFRO (International Union of Forestry Research Organizations – Unit 6.14.00 Urban Forestry) ed alla International Society of Arboriculture, società tecnico-scientifica il cui scopo è promuovere la pratica professionale dell'arboricoltura e aumentare la consapevolezza dell'importanza degli alberi in un pubblico sempre più folto, attraverso la ricerca, la tecnologia e la divulgazione e che conta oltre 21000 soci in tutto il mondo. In Italia, nonostante una cultura storica di rilievo nella realizzazione di alberature urbane, giardini e parchi, lo studio ma anche la stessa diffusione del verde urbano non hanno avuto grande interesse, almeno nel secondo dopoguerra [8].

La Tenuta Presidenziale di Castelporziano è stata un fondamentale sito di studio per meglio capire le complesse interazioni tra le piante e l'ambiente urbano. Il programma dell'Unione Europea (EU) Biogenic Emission in the Mediterranean Area [1] è stato il primo studio integrato sulle emissioni biogeniche e, nel suo ambito, le campagne di Castelporziano (1993-1996) hanno costituito una pietra

miliare nello studio delle relazioni tra piante ed ambiente nell'area Mediterranea [1]. Dieci anni dopo, due programmi di ricerca sono stati lanciati contemporaneamente dall'Unione Europea (il programma BIAFLUX del network of excellence ACCENT) e dall'European Science Foundation (il programma ESF-VOCBAS) con lo scopo di continuare lo studio delle relazioni tra biosfera ed atmosfera, utilizzando nuovi strumenti tecnologici per espandere ulteriormente le conoscenze nel settore. Grazie a questi programmi e al supporto scientifico ed economico dell'Accademia Nazionale delle Scienze e della Commissione Tecnico Scientifica della Tenuta di Castelporziano, è stata realizzata una campagna sperimentale internazionale coordinata dal CNR e svoltasi a Castelporziano nel periodo primaverile-estivo del 2007. In questa esperienza di ricerca, una comunità scientifica internazionale con competenze in biologia vegetale, ecologia, chimica e fisica dell'atmosfera, ha studiato le complesse relazioni tra biosfera ed atmosfera utilizzando le tecniche di misura più innovative. I risultati della campagna sono stati pubblicati su un numero speciale della rivista scientifica *Biogeosciences* [2; 3; 5], una tra le riviste di riferimento per la comunità scientifica internazionale con competenze sulle relazioni tra biosfera ed atmosfera.

Le recenti esperienze maturate mediante la collaborazione tra gli istituti italiani del CNR, del CRA e l'Università di Berkeley, California (USA), attraverso i progetti europeo CITROVOC, CASTELTOF, CASTEL2 ed EXPLO3REVOC, sono una base ideale per proseguire le ricerche svolte a Castelporziano ed approfondire ulteriormente la dipendenza dei parametri ecofisiologici della vegetazione dai fattori ambientali, modellizzando gli scambi tra atmosfera e biosfera in risposta a stress di varia natura generati dai cambiamenti climatici in atto.

Caso di studio 1: **Flussi di ozono presso il sito sperimentale di località Castello.**

L'obiettivo di questo studio è stato quello di quantificare i flussi di ozono, un ossidante per le piante, e determinare la quantità di ozono che penetra attraverso gli stomi (flusso stomatico), poiché questa è responsabile dei danni che l'ozono reca alla vegetazione. Il sito sperimentale in località Castello (41.74 N, 12.40 E), si trova a 80 m s.l.m. e 7 km dal litorale tirrenico. La media delle precipitazioni per gli anni 2007-2011, è stata di 805 ± 256 mm. I venti presentano il tipico andamento di zone costiere, con brezze di mare durante il giorno provenienti da S-SW che poi cambiano nel pomeriggio dalla direzione N-NE. Il suolo ha una tessitura sabbiosa e bassa capacità di trattenere l'acqua, che aggrava la siccità. Il sito di studio è popolato da un bosco misto mediterraneo con un'altezza media di 25 m, con specie arbustive e arboree. Le specie arboree principali sono *Arbutus unedo*, *Laurus nobilis*, *Phillyrea latifolia*, *Pinus pinea*, *Quercus ilex*, *Quercus suber*. Queste specie sono risultate essere tra le più abbondanti nel sito grazie ad un rilievo forestale eseguito ad-hoc per questo studio, che ha anche permesso di misurare un indice di area fogliare (LAI) pari a $4.76 \text{ m}^2_{\text{foglie}} \text{ m}^{-2}_{\text{suolo}}$, misurato con un LAI 2000 (Li-Cor, Nebraska, USA).

Le misure sono state condotte a partire da settembre sino a dicembre 2011, in un periodo di transizione dal periodo estivo al periodo invernale (fig. 1). In questo studio abbiamo quindi identificato un periodo caldo e relativamente asciutto (DOY – giorno dell’anno – 245-280) e un periodo freddo e umido (DOY 281-345).

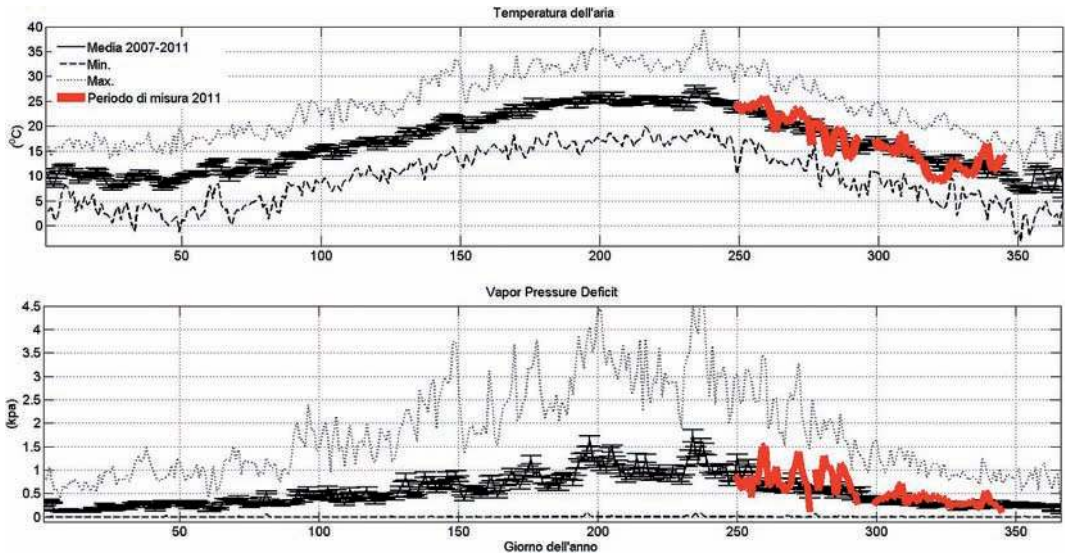


Fig. 1. Medie giornaliere di temperatura dell’aria (pannello superiore) e deficit di pressione di vapore (VPD, pannello inferiore), nel sito di ricerca. La media si riferisce al periodo 2007-2011 (\pm deviazione standard) per la stazione meteorologica di Castello, situato a due km a est del nostro sito di misura all’interno della Tenuta di Castelporziano. In rosso, la media giornaliera dei dati raccolti durante il periodo di misura.

I valori orari di temperatura dell’aria sono stati registrati con un sensore MP100A (Rotronic, Huntington, NY, USA). Un anemometro (Young 81000, USA) è stato utilizzato per misurare la velocità e direzione del vento, e un pluviometro (ARG 100, Misure ambientali, Sunderland, UK) è stato utilizzato per misurare la precipitazione giornaliera. Tutti i valori meteorologici sono stati registrati con un registratore di dati (CR23X, Campbell Scientific, Shepshed, Regno Unito). I flussi di ozono sono stati misurati sopra la torre sperimentale di 35 m utilizzata dal personale della Tenuta per radiocomunicazioni e segnalazione di incendi. Le apparecchiature di analisi sono state alloggiate all’interno di una cabina con aria condizionata. L’analizzatore di ozono si basa sul principio della chemiluminescenza ed è stato sviluppato dal National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, Silver Spring, MD). Le concentrazioni di vapor d’acqua e anidride carbonica sono state misurate con un analizzatore di gas a percorso chiuso ad infrarossi (LI-6262,

Lincoln, NE, USA). I dati analogici grezzi sono stati registrati a 10 Hz per tutti i gas utilizzando un datalogger CR3000 (Campbell Scientific, Shephed, Regno Unito). Le concentrazioni di ozono e acqua sono state correlate con la velocità del vento verticale secondo la tecnica Eddy Covariance, seguendo i metodi descritti ampiamente in [4].

La conduttanza stomatica (G_{sto}) e la successiva determinazione dei flussi stomatici di ozono sono stati calcolati a partire dalle misure di evapotraspirazione utilizzando l'equazione di Monteith [4]. In questo lavoro, flussi sono espressi per unità di superficie di terreno, flussi positivi indicano il trasferimento di massa e di energia dall'ecosistema all'atmosfera, mentre flussi negativi indicano trasferimento dall'atmosfera nell'ecosistema.

Le concentrazioni di ozono più alte sono state registrate in corrispondenza dei periodi caldi (fig. 2), superando anche le 60 ppb, seguendo il tipico andamento per cui ozono è formato durante il giorno a causa di eventi fotochimici e precursori a

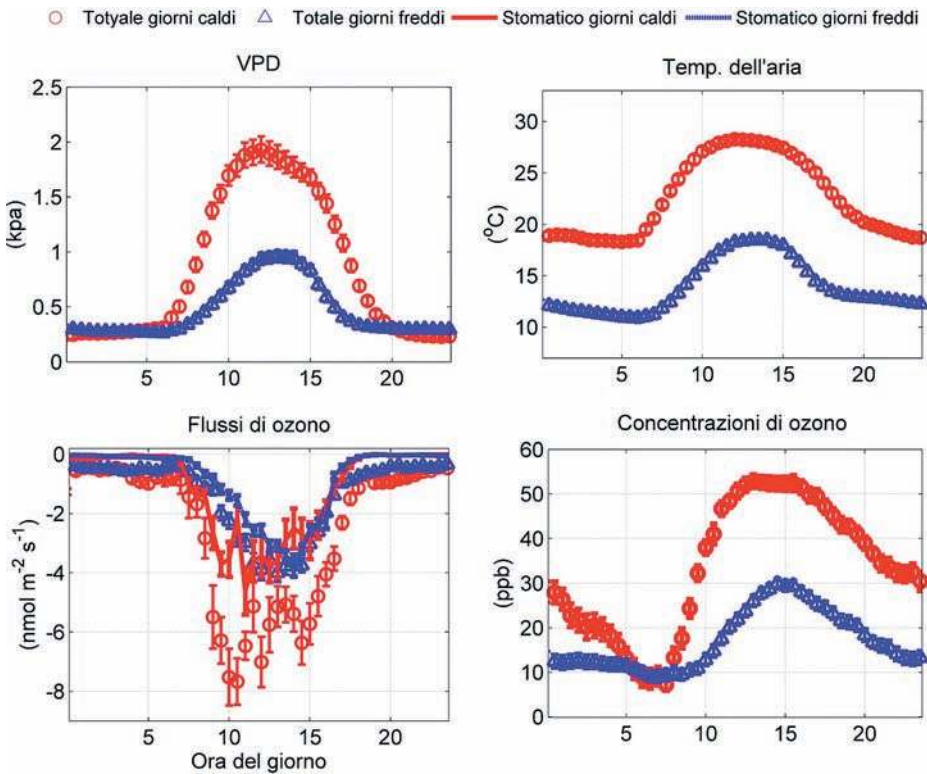


Fig. 2. Media semioraria (\pm deviazione standard) di temperatura dell'aria, VPD, concentrazione di ozono, flussi totali e stomatici di ozono misurati sulla torre sperimentale di Castello in un periodo caldo (DOY 245 - DOY 280) e in un periodo freddo (DOY 281 - DOY 345).

prevalenza di origine urbana, per poi diminuire nelle ore notturne grazie alla rimozione per reazioni chimiche in atmosfera e deposizione su superfici e stomi [3].

I flussi di ozono hanno raggiunto il picco nelle ore centrali della giornata (fig. 2), con valori fino a $-9 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ durante i giorni caldi. La tipica forma a campana della dinamica dei flussi di ozono è il risultato di diversi fattori che svolgono un ruolo preponderante durante le ore centrali della giornata: temperatura, concentrazioni di ozono, fotochimica, emissione di BVOC di origine biogenica (composti organici volatili). Dal confronto tra flussi totali e stomatici è ragionevole ipotizzare che durante le ore centrali della giornata una porzione di flusso di ozono determinata da processi non-stomatici sia imputabile alla sua reazione con i BVOC emessi da foglie e suolo, come già sottolineato in passati studi svolti all'interno della Tenuta [3; 1]. I flussi di ozono stomatici sono risultati della stessa entità durante i giorni caldi e freddi, raggiungendo valori fino a $-4 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, circa il 50% dei flussi totali di ozono durante i giorni caldi (fig. 2), e la quasi totalità dei flussi di ozono durante i giorni più freddi, supportando ancora una volta la conclusione che la reazione in fase gassosa tra ozono e BVOC, dipendente esponenzialmente dalla temperatura, contribuisca in modo significativo alla rimozione di ozono nelle giornate calde. Da questo primo caso di studio, le misure sperimentali indicano che la foresta mista di Castelporziano rappresenta un importante *sink* di ozono, un gas ossidante ed ad effetto serra. Questo tipo di esternalità positiva deve essere presa in considerazione quando si vuole analizzare il complesso dei benefici che le foreste urbane e periurbane apportano alla comunità.

Caso di studio 2: Prime analisi dei flussi di carbonio e acqua misurati nella lecceta di Grotta di Piastra.

A febbraio 2012, il gruppo di biometeorologia del CRA in collaborazione con il CNR ISAFOM e IBAF ha iniziato a svolgere una serie di misure di scambi gassosi presso la torre sperimentale di Grotta di Piastra. Una stazione meteorologica è stata allestita grazie alle risorse finanziarie del progetto CASTELTOF supportato dall'Accademia delle Scienze detta dei XL, e grazie alla collaborazione con l'Osservatorio centro multidisciplinare per gli Ecosistemi costieri mediterranei della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. È stato intrapreso l'ambizioso piano di effettuare una serie di misure in continuo su base semioraria che si intende portare avanti anche nei prossimi anni, al fine di arrivare ad avere una serie temporale tale da interpretare l'effetto dei fattori di controllo (clima, processi ecologici, disponibilità idrica, etc.) sui parametri ecofisiologici della lecceta di Grotta di Piastra, un ecosistema molto rappresentativo della vegetazione forestale mediterranea. Il proseguimento delle misure nel lungo termine potrà fornire informazioni utili per capire come questo tipo di ecosistema risponderà ai cambiamenti climatici.

Oltre agli scambi gassosi, le variabili ambientali misurate sono temperatura dell'aria, precipitazione, direzione ed intensità del vento, umidità del suolo, bagna-

tura fogliare. Questi parametri sono d’ausilio per interpretare la dinamica dei flussi di carbonio, acqua, ozono, energia (calore latente e calore sensibile) che vengono misurati sfruttando la tecnica micrometeorologica dell’Eddy Covariance [4]. I dati finora raccolti ci permettono di interpretare flussi misurati in un periodo in cui la disponibilità idrica non è stata limitante, ovvero da febbraio a maggio. Riportiamo in figura 3 l’andamento delle precipitazioni e temperatura dell’aria, con l’andamento dei flussi di carbonio (Net Ecosystem Exchange) e acqua (Evapotraspirazione).

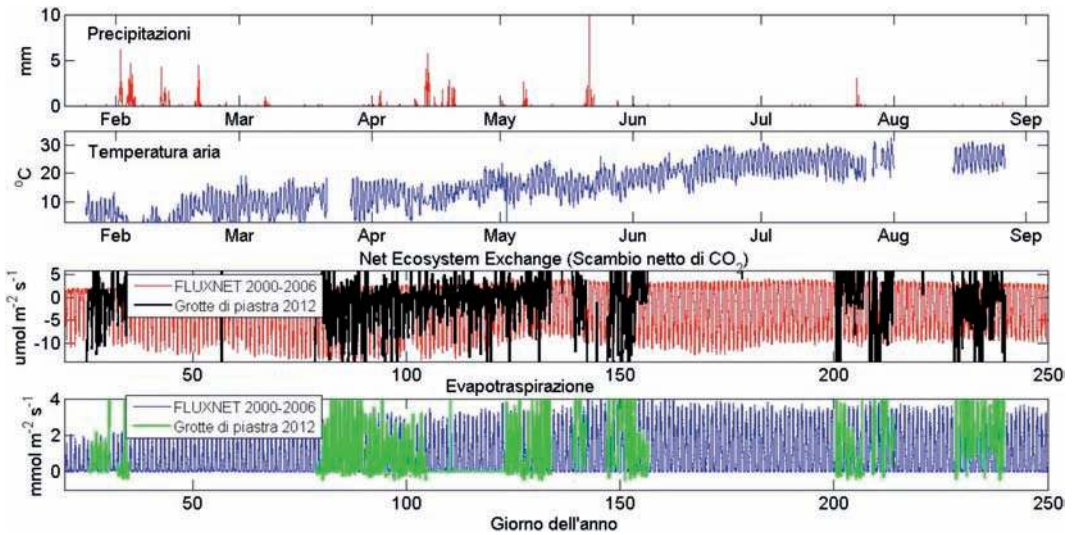


Fig. 3. Precipitazioni, temperatura, flussi di carbonio, evapotraspirazione osservati su base semioraria tra gennaio e agosto 2012 presso la stazione sperimentale di “Grotta di Piastra”.

Dal momento che le misure sono iniziate nell’anno in corso, il set di dati disponibile è limitato. Tuttavia, è disponibile un database di dati raccolti presso la stazione sperimentale Lo Scoponcino, collezionato su base semioraria dal gruppo di lavoro dell’Università della Tuscia tra il 1996 e il 2009 nell’ambito di diversi progetti Europei (EuroFlux, CarboEuroflux, CARBOEUROPE) e nazionali (CarboItaly). Il sito fa parte della rete globale FLUXNET. Una media calcolata sul set di dati misurati tra il 2000 ed il 2006 per tutti i giorni dell’anno viene riportata in figura 3. Per facilitare il confronto, sono stati mediati i dati relativi ai 7 anni per avere un andamento medio orario per ogni ora dell’anno.

L’ecosistema forestale nelle due stazioni sperimentali è la lecceta, tuttavia nella località Scoponcino sono presenti grandi sughere. Al fine di paragonare i dati di Grotta di Piastra con il dataset dello Scoponcino è necessario innanzitutto sapere se in periodi fuori dallo stress idrico i dati di scambi gassosi sono confrontabili.

La figura 4 riporta: 1) l'andamento orario dei flussi di carbonio e acqua calcolato come media oraria dei giorni soleggiati e non siccitosi (DOY 80-100, mese di aprile), un periodo in cui si manifestano usualmente un riscoppio vegetativo e condizioni climatiche ottimali per la fotosintesi, 2) l'andamento orario dei flussi di carbonio e acqua calcolato come medie orarie dei giorni estivi (DOY 200-240) in cui l'ecosistema si trovava in condizioni di scarsa disponibilità idrica e temperature che superavano i 30 °C durante le ore centrali della giornata.

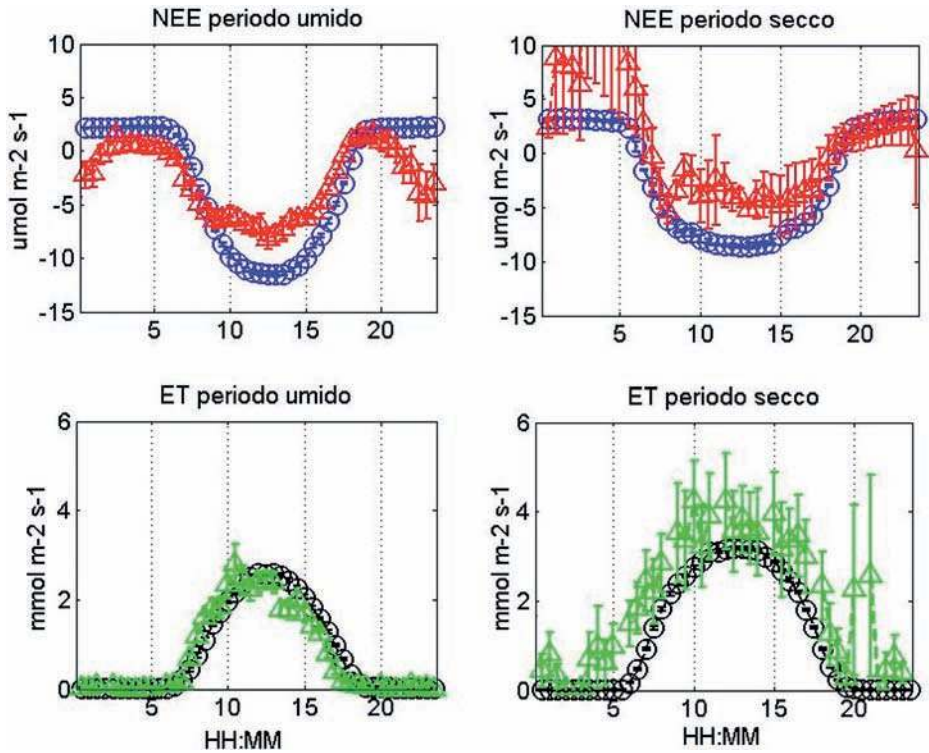


Fig. 4. Flussi di carbonio netti (NEE – Net Ecosystem Exchange) e di acqua (ET-Evapotranspiration) in periodi umidi (DOY 80-100) ed in periodi di siccità (DOY 200-240) nel sito sperimentale di Grotta di Piastra.

Dalla figura 4 si evince che i flussi di carbonio presso la stazione sperimentale in località Scoponcino sono di entità superiore rispetto ai flussi in località Grotta di Piastra del 35% circa durante le ore centrali della giornata. Durante il periodo siccitoso, i flussi misurati a Grotta di Piastra sono inferiori del 45%, suggerendo che un certo effetto dovuto all'estate straordinariamente siccitosa del 2012 potrebbe esserci stato. Tale considerazione va interpretata con la dovuta cautela, dal momento

che stiamo confrontando due ecosistemi diversi e l'errore sperimentale nel caso di Grotta di Piastra è maggiore a causa della discontinuità dei dati. Inoltre, il dato riportato per la stazione di Scoponcino viene da una media di medio termine (7 anni), dove possono essere state presenti annate con diversa disponibilità idrica.

Per quanto riguarda il flusso d'acqua, i due ecosistemi presentano una dinamica giornaliera molto simile durante il periodo umido. Durante l'estate invece, l'evapotraspirazione dell'ecosistema in località Grotta di Piastra risulta maggiore. Questo può essere il risultato delle alte temperature, che hanno favorito evaporazione dal suolo, ma soprattutto la maggiore traspirazione fogliare e, probabilmente, alcune differenze strutturali tra i due boschi (Grotta ha un'altezza maggiore). Ulteriori informazioni possono essere ricavate dall'analisi dei flussi di energia sotto forma di calore sensibile e calore latente dissipato in atmosfera per evapotraspirazione. La figura 5 riporta tali informazioni, calcolate come medie semiorarie al fine di evidenziare una dinamica giornaliera.

Dalla figura 5 si evince che l'ecosistema in località Grotta di Piastra dissipa più calore in atmosfera rispetto all'ecosistema in località Scoponcino, sia nei periodi

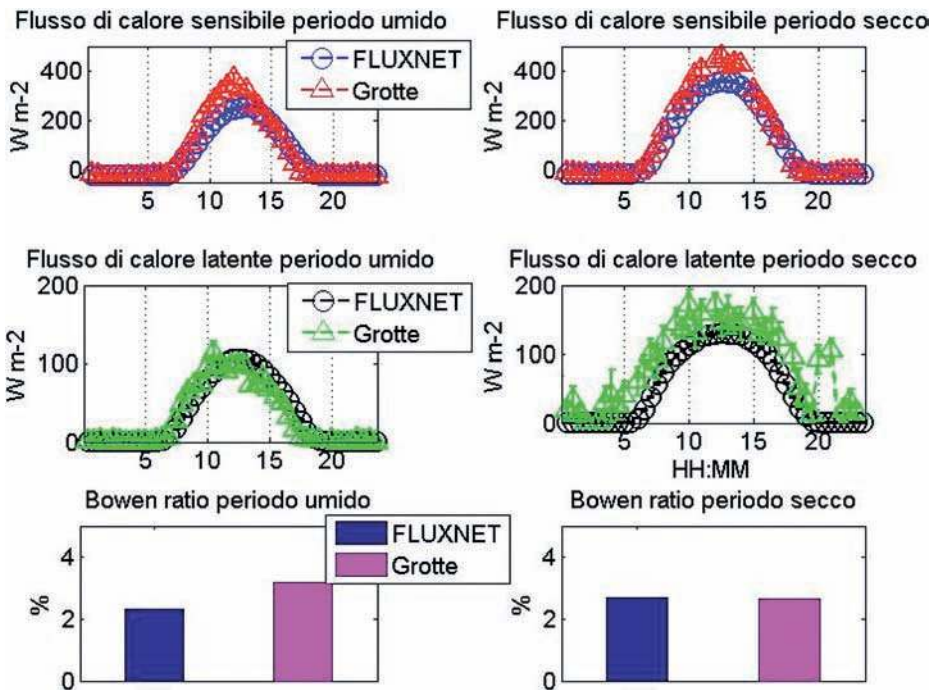


Fig. 5. Flussi di calore sensibile e latente nel sito Fluxnet e a Grotta di Piastra per il periodo umido e secco. Le barre indicano il rapporto di Bowen, ovvero il rapporto tra flusso di calore sensibile e latente, calcolato come media delle ore del giorno tra le 11:00 e le 15:00.

umidi che nel periodo estivo. I flussi di calore latente rispecchiano ovviamente i flussi di evapotraspirazione, rimarcando un maggiore tasso di evapotraspirazione della lecceta in località Grotta di Piastra nel periodo secco. Il rapporto di Bowen, dato dal rapporto tra flusso di calore sensibile e latente ci aiuta a comprendere maggiormente aspetti importanti del bilancio energetico degli ecosistemi. Tale rapporto ci suggerisce che nel periodo umido a Grotta di Piastra la quota percentuale di energia liberata sottoforma di calore sensibile rispetto al flusso energetico totale è maggiore rispetto alla località Scoponcinò. Ciò potrebbe essere dovuto alla maggiore area fogliare presente in località Scoponcinò che intercetta più radiazione solare e la dissipa in atmosfera. Nel periodo secco tuttavia, il rapporto di Bowen nei due ecosistemi è lo stesso, suggerendo che nel periodo estivo l'ecosistema in località Grotta di Piastra ha aumentato percentualmente il flusso di calore latente. In altre parole, le foglie hanno aumentato il tasso di traspirazione per raffreddarsi e difendersi dalle alte temperature. Questa considerazione suggerisce inoltre che la disponibilità idrica nel suolo potrebbe non essere limitante, grazie ad un livello di falda superficiale che garantisce approvvigionamento idrico all'apparato radicale.

Come considerazioni conclusive si segnala che la disponibilità di un dataset pluriennale consentirà di stimare parametri ecofisiologici della vegetazione in risposta ad eventi climatici estremi. Oltre ai parametri ecofisiologici, sono in corso misure in continuo delle concentrazioni e flussi di ozono. La disponibilità di dati relativi alle concentrazioni e flussi di ozono in località Grotta di Piastra offrirà la possibilità di capire se l'ozono a Castelporziano rappresenti un fattore limitante per l'assimilazione di carbonio. Ad esempio, quando l'ozono raggiunge i livelli più elevati in estate, potrebbe avere effetti negativi sui parametri ecofisiologici della vegetazione, ovvero una diminuzione di fotosintesi e un aumento del rapporto di Bowen in risposta a chiusura stomatica e quindi limitazioni alla traspirazione.

L'inserimento della Tenuta Presidenziale di Castelporziano nel programma Long Term Ecosystem Research network (LTER – Italia) a partire dal 2008 indica chiaramente l'importanza di proseguire a raccogliere dati sperimentali nel lungo termine al fine di caratterizzare gli effetti dei cambiamenti climatici sulla vegetazione Mediterranea.

Ringraziamenti

Ringraziamo gli enti finanziatori e i collaboratori che hanno permesso di svolgere le ricerche: Unione Europea attraverso i progetti Marie Curie-IAPP "PTR-TOF", "EXPLO3REVOG", il progetto LIFE FO3REST (ENV/FR/000208) e 7° PQ ExpeER INFRA B3 (Contract no. 262060); la Commissione Scientifica di Castelporziano attraverso il progetto "CASTELTOF". Ringraziamo inoltre il Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica, Direzione Tenuta di Castelporziano, la Commissione Scientifica di Castelporziano, in particolare il Presidente, Prof. Ervedo Giordano, l'Ing. Aleandro Tinelli e il Dr. Luca Maffei presso l'Osser-

vatorio centro multidisciplinare per gli Ecosistemi costieri mediterranei. Si vuole inoltre ringraziare il Prof. Riccardo Valentini e il Dr. Dario Papale presso il Dipartimento per la Innovazione nei sistemi Biologici, Agroalimentari e Forestali (Università della Tuscia), per aver messo a disposizione il database sui flussi di carbonio presso il sito sperimentale in località Lo Scoponcino.

CITAZIONI BIBLIOGRAFICHE

- [1] BEMA, 1997. An European Commission project on biogenic emissions in the Mediterranean area, edited by: Seufert, G., *Atmos. Env.*, 31, 1-256.
- [2] Davison B., Taipale R., Langford B., Misztal P., Fares S., Matteucci G., Loreto F., Cape J.N., Rinne J., Hewitt C.N., 2009. Concentrations and fluxes of volatile organic compounds above a Mediterranean macchia ecosystem in western Italy. *Biogeosciences* 6: 1655-1670.
- [3] Fares S., Mereu S., Scarascia Mugnozza G., Vitale M., Frattoni M., Ciccioli P., Loreto, F., 2009. The ACCENT-VOCBAS field campaign on biosphere-atmosphere interactions in a Mediterranean ecosystem of Castelporziano (Rome): site characteristics, climatic and meteorological conditions, and eco-physiology of vegetation. *Biogeosciences* 6, 1043-1058.
- [4] Fares S., Weber R., Park J.H., Gentner D., Karlik J., Goldstein A.H., 2012. Ozone deposition to an orange orchard: partitioning between stomatal and non-stomatal sinks. *Environmental Pollution* 169, 258-266.
- [5] Gerosa G., Vitale M., Finco A., Manes F., Denti A., Cieslik S., 2005. Ozone uptake by an evergreen Mediterranean Forest in Italy. Part I: Micrometeorological flux measurements and flux partitioning. *Atmospheric Environment* 39, 3255-3266.
- [6] McPherson Gregory E., Nowak, J.D., Rowntree, R.A., 1994. Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago urban forest climate project (General Technical Report NE-186). USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Radnor, Pennsylvania.
- [7] Miller W.R., 1998. *Urban Forestry: Planning and Managing Urban Greenspaces* (2nd ed.). Long Grove, IL: Waveland Press, Inc.
- [8] Sanesi G. *et al.*, 2001. *Ricerca sui sistemi del verde multifunzionale in ambito toscano (RISVEM). Linee guida tecnico-operative per la pianificazione, progettazione, realizzazione, gestione di spazi verdi multifunzionali.* ISBN: 88-87553-15-7, 978-88-87553-15-4.

**GEOMORFOLOGIA, PEDOLOGIA
E RISORSE IDRICHE**

CRISTINA DE NICOLA¹ – ANNA TESTI¹ – ROBERTO CROSTI²
AUGUSTO ZANELLA³ – DIEGO D'ANGELI¹ – GIULIANO FANELLI¹
SANDRO PIGNATTI¹

Humus e vegetazione come indicatori della qualità dell'Habitat nella Tenuta di Castelporziano

Abstract – *Humus and vegetation as indicators of the Habitat quality in the Castelporziano Reserve.* In this study an innovative integrated approach based on soil/humus and vegetation was used in order to detect the habitats quality and to test the relationship between vegetation and humus forms. This type of relationship, in fact, has never been investigated in the mediterranean region of Italy.

65 phytosociological relevés and humus profiles were carried out in the same sampling sites.

Ellenberg's indicator values were used to test the relationships between vegetation and humus; in particular, the product R*N, corresponding to the aggregation of the two indicators R-pH and N-nutrients; this index, is considered linked to humus quality and functionality, was applied for the first time to a mediterranean data set.

A matrix of 178 plant species x 65 relevés was subjected to statistical multivariate treatment by the procedure of *Cluster Analysis*; the Spearman's rank correlation test was used to verify the correlations between indicators and measured humus/soil parameters (i.e. pH, content of carbon).

The humus forms are related with the index of humus quality R*N and were classified into three main categories: *mull* with elevated functionality, exclusive of the most mesohygrophilous woodlands, *moder* with intermediate functionality, mainly present in the deciduous oak woodlands, *amphi* with low functionality in the evergreen sclerophyllous woodlands. In the more disturbed habitats the humus forms show a mosaic pattern, in correspondence with a very low diversity of the understorey flora.

Key words: humus, vegetation, indicators, correlations, environmental quality.

¹ Dipartimento di Biologia Ambientale, Università la Sapienza, Orto Botanico, L.go Cristina di Svezia, 24, Roma.

² c/o ISPRA, Dipartimento Difesa della Natura, via Curtatone, 00185 Roma.

³ Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali della Facoltà di Agraria, Università degli studi di Padova, viale dell'Università 16 - 35020 Legnaro (Padova).

Sommario – Nella presente ricerca è stato utilizzato un approccio integrato tra studio del suolo, dell’humus e della vegetazione per valutare la qualità degli habitat e per testare le relazioni tra forme di humus e vegetazione. Si tratta di un lavoro pionieristico, in quanto gli humus in ambiente mediterraneo sono poco conosciuti.

Sono stati eseguiti 65 rilievi fitosociologici e altrettanti profili di humus negli stessi siti di saggio. Per l’analisi delle relazioni tra humus e vegetazione sono stati impiegati gli indicatori di Ellenberg; in particolare l’indice R*N che rappresenta un aggregato di due indici: R = pH, N = nutrienti e che è descritto in letteratura come un indice di qualità e funzionalità dell’humus. Questo indice viene applicato per la prima volta a un set di dati relativo a un ambiente mediterraneo. La matrice di 178 specie x 65 rilievi è stata sottoposta ad analisi statistica multivariata tramite *Cluster Analysis* ed è stato quindi utilizzato il test di correlazione di Spearman per verificare le correlazioni tra indicatori e parametri dell’humus misurati (pH e contenuto di carbonio). Le forme di humus sono risultate correlate con l’indice di qualità R*N e sono state classificate in tre principali categorie: *mull* ad elevata funzionalità, esclusive dei boschi meso-igrofilo della Tenuta, *moder* a funzionalità intermedia nei querceti decidui, *amphi* a bassa funzionalità nei boschi sclerofilli sempreverdi. Negli habitat più disturbati le forme di humus presentano una distribuzione a mosaico, in coincidenza con una bassa diversità della flora del sottobosco.

Parole chiave: humus, vegetazione, indicatori, correlazioni, qualità ambientale.

Introduzione

La qualità ambientale rappresenta uno dei temi più rilevanti nell’ambito sia delle ricerche ecologiche sia delle strategie di gestione e conservazione degli habitat. L’Unione Europea attraverso diversi strumenti legislativi (ad esempio la *Direttiva Habitat* e la rete “*Natura 2000*”), così come i gestori di parchi e riserve, richiedono alla comunità scientifica criteri di valutazione e di espressione della qualità ambientale basati su indici e indicatori in grado di quantificarne il valore; come premessa è pertanto importante e opportuno esplicitare cosa intendiamo per *qualità di un ambiente*. Secondo il tradizionale approccio fitosociologico-forestale [57] la qualità di un habitat è espressa dalla coerenza della vegetazione che lo rappresenta con i fattori abiotici locali (clima, suolo) e di conseguenza lo sforzo investigativo principale è rivolto alla classificazione della vegetazione. Secondo un approccio ecosistemico, invece, emerge una multidimensionalità in cui la coerenza della vegetazione rappresenta solo una delle dimensioni che esprimono la qualità. Nel nostro studio utilizziamo la *funzionalità* come espressione di qualità, riferita ai legami e ai feedbacks tra vegetazione e humus, poiché nella parte superficiale del suolo avvengono i principali cicli biogeochimici che influenzano la flora erbacea [2], il rinnovo delle specie [3; 42], la produttività [10] dei sistemi, con ricadute anche sulla qualità della lettiera [55]. Humus e componente erbacea sono considerati indicatori del regime dei nutrienti del suolo [60] e sono utilizzati per biomonitorare gli ecosistemi stessi [58; 41]. L’humus, inoltre, favorendo i processi di decomposizione ed il relativo passaggio dei nutrienti nella biomassa vegetale, garantisce il supporto ai servizi ecosistemici legati alla gestione forestale.

Le forme di humus sono indicatrici dello stato di conservazione dell'ecosistema [30; 54], in particolare per quei siti che, a causa del disturbo, perdono gran parte delle specie, soprattutto erbacee [26]. Gli humus sono anche intimamente legati all'attività delle comunità faunistiche e microbiche del suolo [59; 44; 43; 8; 46; 19; 7; 62] favorendo lo stoccaggio della CO₂.

In un ecosistema la grande varietà spaziale e temporale delle forme di humus può essere attribuita alle interazioni tra i fattori stazionali (clima, roccia madre, pendenza, esposizione) che sono stabili e fattori non stabili quali l'uso del suolo [27], il tipo di uso [36; 1] e/o l'evoluzione naturale della vegetazione [35; 56].

L'humus svolge nell'ecosistema differenti ruoli: costituisce la memoria di un bosco in quanto conserva le informazioni per un tempo più lungo rispetto alla vegetazione erbacea; contribuisce al turnover della sostanza organica; fornisce quindi l'indispensabile nutrimento minerale ed organico al sistema suolo; protegge il sito e conserva la banca semi del suolo [13; 14; 20].

Le forme di humus forniscono informazioni importanti sullo *status* ecologico delle cenosi forestali; in particolare attraverso questo studio si vogliono investigare i processi funzionali che collegano suolo e vegetazione, per verificare se, in presenza di effetti del disturbo sulla flora del sottobosco, gli humus conservino le informazioni dell'ecosistema. Inoltre si è voluto sperimentare in ambiente mediterraneo il metodo di classificazione degli humus nato in ambito europeo e in nord Italia [63]. Anche in tal senso la ricerca ha carattere pionieristico, poiché i lavori di riferimento sono del tutto assenti nel centro-sud della penisola.

Lo studio degli humus forestali, che si è dimostrato prezioso nell'interpretazione dell'ecologia forestale, è ancora poco diffuso in ambito mediterraneo; gli unici lavori svolti in questo ambiente riguardano in Francia la Provenza [6; 25] e in Italia la Val di Farma [37] e la Sardegna [48]. Pertanto, uno studio delle forme di humus della Tenuta Presidenziale di Castelporziano, un residuo di foresta planiziale importante nel Mediterraneo, riveste un particolare interesse.

Lo scopo di questo lavoro è quello di valutare la qualità degli habitat attraverso un approccio integrato tra studio del suolo e della vegetazione per ricercare e testare le relazioni esistenti tra forme di humus e la vegetazione stessa.

Area di studio

La Tenuta di Castelporziano rappresenta un'area ad elevata ricchezza di specie e comunità vegetali, per la quale potrebbe essere definita un "hotspot" della biodiversità in ambiente mediterraneo: 970 specie di piante vascolari e 45 comunità vegetali in 5800 ettari di superficie [38]; inoltre è presente una gran varietà di paesaggi in relazione ad una diversità geomorfologica e litologica [12]. Le differenti unità geomorfologiche, rappresentate dalla duna recente, dalla duna antica, dall'unità delle vulcaniti e da quella delle alluvioni ospitano differenti ecosistemi, rappresentativi di almeno tre biomi che coesistono a poca distanza. I biomi più anti-

chi, risalenti a circa 100.000 anni fa, sono la foresta caducifoglia a cerro e farnetto, e quella a lauro e carpino, considerata un relitto di *laurisilva* [38], mentre il bioma più recente è quello della foresta sempreverde a leccio su duna recente, la cui successione è riferibile ad una scala temporale di 1.000 anni. Le specie di questi diversi ecosistemi in certi casi entrano in contatto creando zone ecotonali di rilevante estensione [23].

Lo studio sugli humus e sulla vegetazione qui presentato è stato effettuato in tutto il territorio della Tenuta, utilizzando aree di saggio rappresentative dei tre biomi prima citati (Fig. 1).

L'area di studio comprende anche il bosco di Foglino-Tre Cancelli (Fig. 1) in cui la vegetazione prevalente è rappresentata dal querceto deciduo a cerro e farnetto, con presenza di piscine e pozze temporanee; l'area di Foglino è stata considerata in quanto da studi precedenti risulta ricca di plantule e specie erbacee nel sottobosco del querceto [4]. La similitudine fra le due aree (Castelporziano e Foglino) è dovuta al fatto che esse costituivano fino agli inizi del secolo scorso, parti di un'antica foresta planiziale che ricopriva la fascia sub-costiera tirrenica da Roma a Latina [34] e che dopo le bonifiche della pianura pontina, iniziate in modo intensivo dal 1700 [9], ha cominciato a subire ingenti trasformazioni. Pascolo, tagli, incendi, agricoltura intensiva e infine l'intensa e progressiva urbanizzazione hanno ulteriormente ridotto la copertura forestale, conferendo ai boschi attuali (Castelporziano, Circeo, Foglino, Padiglione) il carattere di frammenti disgiunti dell'antica *Selva* [4].

Metodi

Studi sulla vegetazione e sui suoli della Tenuta sono stati già pubblicati nei volumi precedenti [4; 38; 12; 52; 17]. La novità del metodo qui applicato consiste nell'aver effettuati 65 profili di suolo ed humus e rilievi di vegetazione nei medesimi siti di saggio.

Campionamento degli humus e dei primi orizzonti di suolo

Nello studio delle forme di humus è possibile seguire approcci metodologici diversi a seconda dello scopo che si vuole raggiungere e del livello di dettaglio cercato. Nel nostro caso abbiamo deciso di seguire l'approccio morfo-funzionale proposto da *European Humus Forms Reference Base* 2011 [62], che si basa sulle caratteristiche morfologiche e funzionali di orizzonti diagnostici organici ed organo-minerali osservabili in campo:

- OL – orizzonte che si trova in superficie, costituito da residui vegetali (prevalentemente foglie intere poco modificate o debolmente frammentate) la cui forma originaria è ancora chiaramente riconoscibile ad occhio nudo. Il volume occupato dalla componente umica (parte composta di residui minuti o trasformati dalla pedofauna in escrementi) è inferiore al 10% del volume dell'orizzonte;

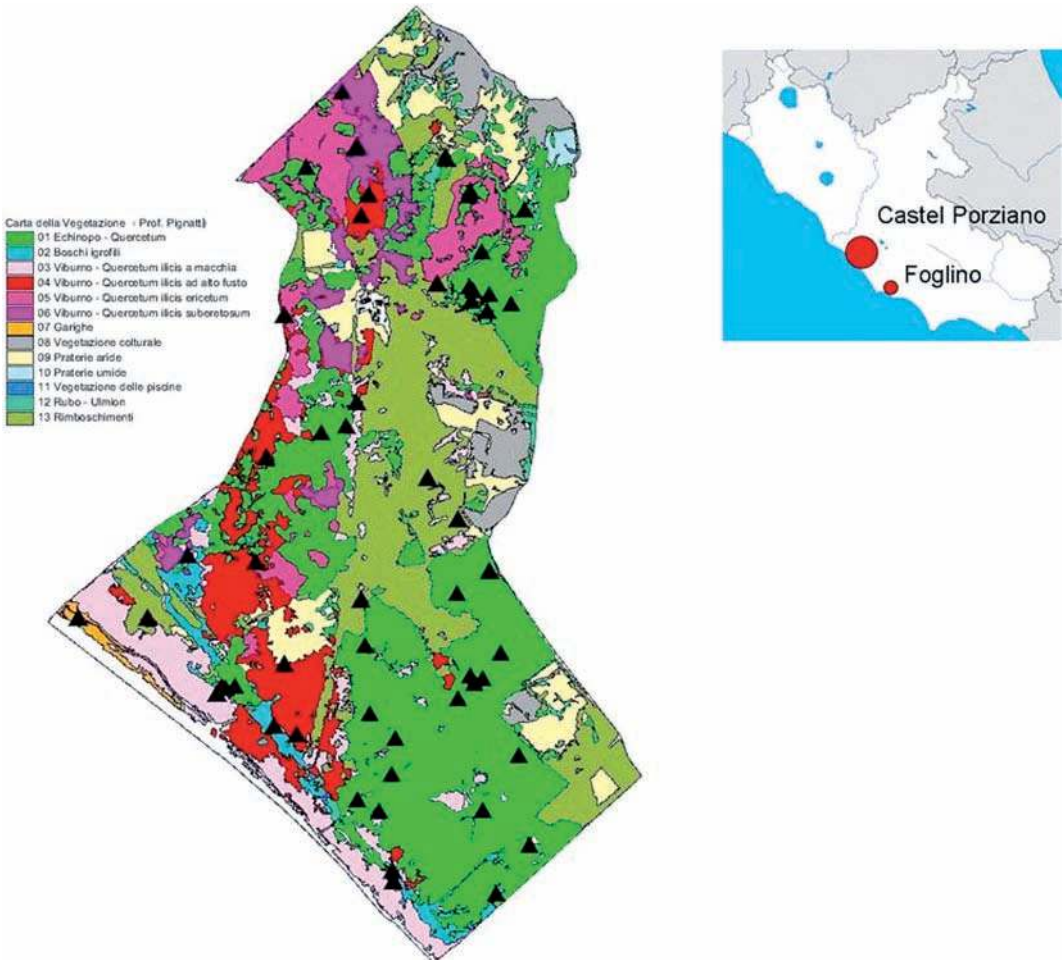


Fig. 1. Area di studio: Tenuta di Castelporziano e Bosco di Foglino. Localizzazione dei 59 siti di saggio nella Tenuta di Castelporziano riportati sulla carta della vegetazione del 2001.

- OF – orizzonte situato sotto l'orizzonte OL, costituito da frammenti di foglie e di residui legnosi, misti a quantità variabili di componente umica (fino al 70% in volume dell'orizzonte, radici escluse, secondo una stima visiva);
- OH – orizzonte situato sotto OF corrispondente ad uno stadio avanzato di trasformazione della sostanza organica; più del 70% del volume è costituito da componente umica;
- maA – orizzonte organo-minerale biomacrostrutturato da vermi anecici ed endogeni (\emptyset dei grumi dominanti in volume > 4 mm);
- meA – orizzonte organo-minerale biomesostrutturato da vermi epigei, endogeni ed artropodi (\emptyset dei grumi dominanti in volume compreso tra 4 e 1 e mm);

- miA – orizzonte organo-minerale biomicrostrutturato da microartropodi ed enchytraidi (\emptyset dei grumi dominanti < 1 mm)
- Anoz – orizzonte organo-minerale non zoogenico, peds non di origine biologica.

Gli humus sono stati classificati utilizzando i due livelli gerarchici previsti dalla chiave analitica di classificazione [62] che vede al primo livello: mull, moder, amph, mor e tangel. Sono di seguito descritte solo le forme di humus rinvenute nello studio:

1) i mull sono humus senza orizzonte organico OH, con un importante orizzonte A biomacrostrutturato avente un $\text{pH} \geq 5$; il turnover della lettiera è rapido (< 2 anni); il carbonio del suolo si trova essenzialmente nell'orizzonte A;

2) i moder presentano tutti gli orizzonti organici (OL, OF, OH) e un orizzonte A biomeso- o biomicrostrutturato avente un $\text{pH} < 5$; il turnover della lettiera è più lento che nei mull (2-7 anni); il carbonio del suolo è stoccato sia in A (poco profondo) che negli orizzonti organici;

3) gli amph presentano tutti gli orizzonti organici (OL, OF, OH) e un A biomeso- o biomacrostrutturato avente un $\text{pH} \geq 5$; il turnover della lettiera è simile a quello dei moder (2-7 anni); presentano un elevato contenuto di carbonio che si accumula sia in A (in generale molto più profondo che nei moder) che negli orizzonti organici;

In totale sono stati raccolti 260 campioni dei diversi orizzonti di humus e di suolo. In laboratorio sono state effettuate le seguenti analisi:

- verifica della classificazione degli humus: attraverso l'uso del microscopio, infatti, si osservano e validano le osservazioni effettuate in campo;
- calcolo dell'umidità o capacità di campo in tutti gli orizzonti oloorganici e nei primi orizzonti di suolo (secondo i metodi adottati dalla Società Italiana della Scienza del Suolo [49] e dal Soil Survey Staff della U.S.D.A. [50; 51];
- misure di pH e carbonio (metodo Walkey Black) nei primi orizzonti di suolo, secondo i metodi adottati dalla Società Italiana della Scienza del Suolo [49] e dal Soil Survey Staff della U.S.D.A. [50; 51]. Il pH è un fattore diagnostico per la classificazione degli humus.

Campionamento della vegetazione

I rilievi di vegetazione sono stati effettuati utilizzando il metodo fitosociologico [5] negli anni 2009, 2010, 2011.

Sono stati eseguiti in totale 65 rilievi di vegetazione, scelti sulla base dei seguenti criteri:

- rappresentatività di tutti i tipi di boschi presenti in Tenuta;
- continuità dello studio ecologico per seguire la dinamica temporale delle specie e delle comunità.

L'area del rilievo di vegetazione è di 100 mq.

Dei 65 siti di saggio 6 sono stati effettuati nel bosco di Foglino, 59 campionati nella Tenuta, di cui 25 sono all'interno di siti di monitoraggio permanente.

Indicatori

Sono stati utilizzati gli indicatori di Ellenberg [15] che sintetizzano in sette fattori ecologici la richiesta media delle specie vegetali per luce, temperatura, continentalità del clima, umidità del suolo, pH, nutrienti, salinità e l'indice di emerobia per valutare il grado di disturbo di specie e comunità [28] (Tab. 1).

I rapporti tra humus e vegetazione sono stati analizzati usando un indice nuovo per l'Italia: il prodotto R*N che corrisponde ad un aggregato di due indici derivati dal modello di bioindicazione di Ellenberg [15]: R-pH ed N-nutrienti (Tab. 1). Esiste infatti una relazione ben definita tra pH del suolo e disponibilità di azoto per le piante [33; 47]; questa relazione esprime la dipendenza della quantità e qualità della mineralizzazione dell'azoto nei suoli forestali dal loro stato di acidità [22]. Ben nota è anche la relazione tra il pH e la quantità di basi adsorbite sul complesso di scambio [13; 29]: quando il pH è basso, i molti ioni H^+ presenti in soluzione si scambiano con i cationi trattenuti sul complesso argillo-umico; i cationi così liberati possono poi essere allontanati dall'acqua nel processo detto di lisciviazione, lasciando il suolo impoverito di basi. L'indice R*N fornisce dunque indicazioni sul turn-over della sostanza organica. Quest'ultima, infatti, durante il processo di mineralizzazione libera i minerali che la compongono e questi in funzione del pH si fissano sugli orizzonti organo-minerali di superficie e regolano la produttività, fertilità e funzionalità dell'humus. L'indice R*N è usato con successo negli ambienti continentali e mesofili del centro-Europa; in Inghilterra è stata realizzata una Classificazione Ecologica dei Siti (Ecological Site Classification) basata sul prodotto R*N [45], in cui è stata dimostrata l'esistenza di una relazione significativa tra il valore dell'indice e la qualità dell'humus [21].

Trattamento statistico dei dati

Il set di dati ottenuto dal campionamento della vegetazione è stato organizzato in una matrice di 178 specie \times 65 rilievi, sottoposta a procedura di analisi statistica multivariata tramite *Cluster Analysis*, (CA) utilizzando il coefficiente di Bray-Curtis e il Complete Link. Il software applicato è stato Biodiversity-Pro [32].

La matrice floristica è stata quindi trasformata in una matrice ecologica in cui sono stati applicati gli indicatori di Ellenberg, i cui valori sono stati ponderati sulle coperture delle specie.

Ogni rilievo della matrice ecologica risulta quindi caratterizzato, oltre che dai 9 valori di ecoindicazione, da 4 parametri edafici misurati, compresa la forma di humus (Tab. 1):

Indicatori	Parametri edafici misurati
<i>H emerobia</i>	<i>pH</i>
<i>L luce</i>	<i>% C carbonio</i>
<i>T temperatura</i>	<i>Umidità (capacità di campo)</i>
<i>K continentalità</i>	<i>Forma di humus</i>
<i>F umidità del suolo</i>	
<i>R pH</i>	
<i>N nutrienti</i>	
<i>S salinità</i>	
<i>R*N Qualità/funzionalità dell'humus</i>	

Tab. 1. Ecoindicatori e parametri edafici.

Su tale matrice è stato applicato il test di correlazione non parametrico di Spearman per verificare le relazioni esistenti tra parametri del suolo ed ecoindicatori.

Riconoscendo i limiti dei test prettamente statistico-matematici applicati ad indicatori ecologici, abbiamo considerato esistenti relazioni tra variabili espresse anche da valori di correlazione inferiori agli standard del test.

Risultati

Humus

Le forme di humus censite in Tenuta e nell'area di controllo (Tab. A in Appendice) ricadono tutte nelle *forme terrestri* [62], tranne due che appartengono alle *forme semiterrestri* di ambienti parzialmente inondati-histomull. Le forme terrestri rinvenute sono state raggruppate nelle tre categorie principali: 1) mull, 2) moder, 3) amphi.

In totale sono stati trovati 38 mull, 15 moder e 16 amphi (Tab. A in Appendice).

Per ogni forma viene riportata nella Tabella in Appendice il secondo livello di classificazione. Alcuni siti presentano un mosaico relativamente complesso di forme di humus, costituito da tasselli di area ridotta e dinamicamente collegati tra loro.

La distribuzione delle forme di humus trovate è presentata in tre mappe georeferenziate, corrispondenti rispettivamente alle tre categorie principali: mull, moder e amphi (Fig. 2: a, b, c). I mull (Fig. 2a) sono distribuiti in tutto il territorio della Tenuta, i moder (Fig. 2b) mancano nella parte centrale e gli amphi (Fig. 2c) sono concentrati nei settori nord e sud-ovest.

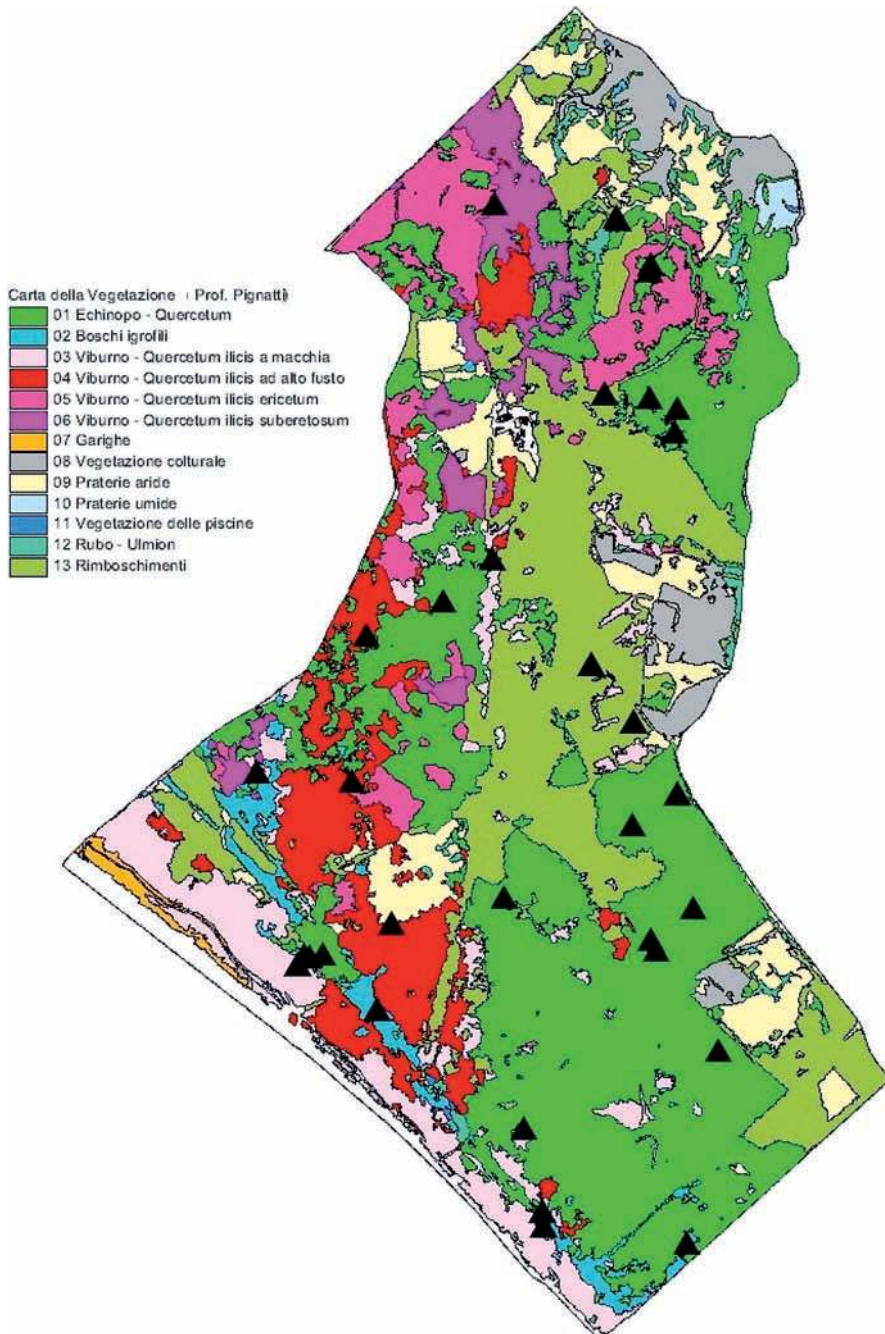


Fig. 2a. Mappa georeferenziata della distribuzione della forma di Humus mull nella Tenuta di Castelporziano riportata sulla carta della vegetazione.

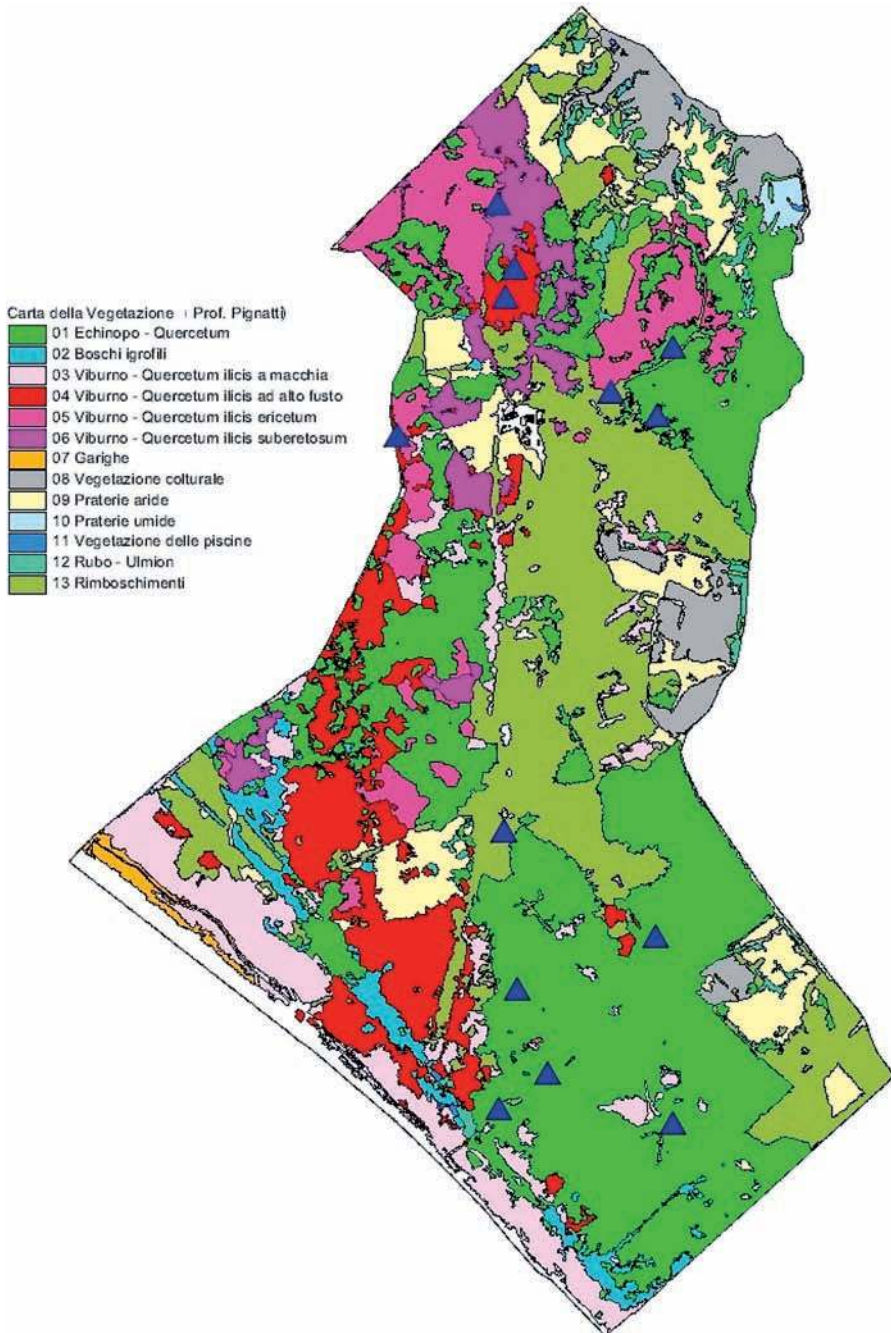


Fig. 2b. Mappa georeferenziata della distribuzione della forma di Humus moder nella Tenuta di Castelporziano riportata sulla carta della vegetazione.

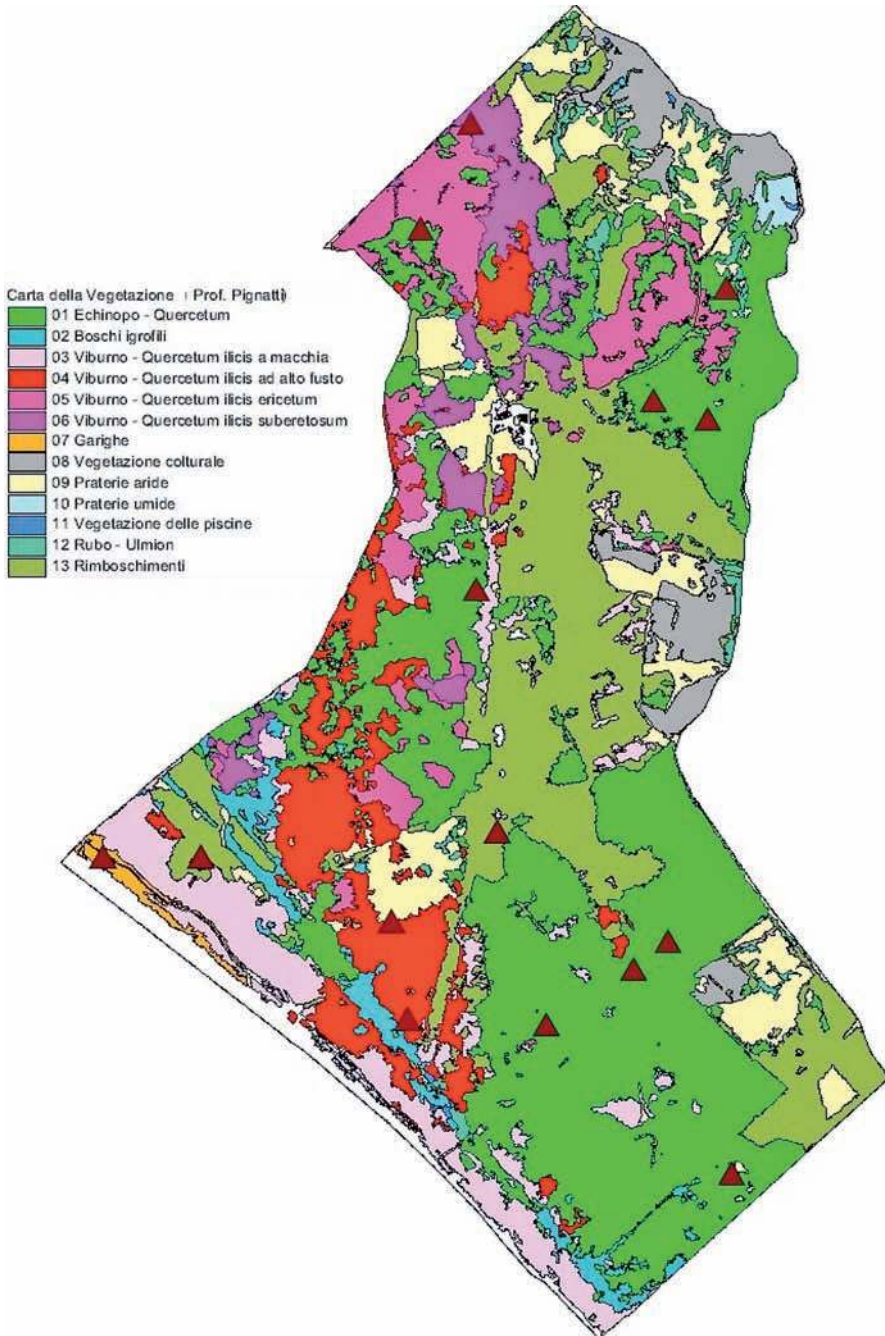


Fig. 2c. Mappa georeferenziata della distribuzione della forma di Humus amphii nella Tenuta di Castelporziano riportata sulla carta della vegetazione.

Vegetazione

Classificazione dei boschi

Il dendrogramma ottenuto dalla CA raggruppa i rilievi di vegetazione in 11 clusters (Fig. 3), corrispondenti a diversi tipi di bosco. L'analisi è basata sulle dissimilarità calcolate sulla copertura percentuale delle specie; (un'analisi in cui le coperture erano state trasformate logaritmicamente, per dare maggior peso alle specie con scarsa abbondanza, ha fornito risultati del tutto comparabili).

La tabella specie/rilievi è stata riordinata in base ai risultati del dendrogramma, permettendo l'identificazione di diversi tipi di boschi sulla base delle differenze floristiche (Tab. B in Appendice).

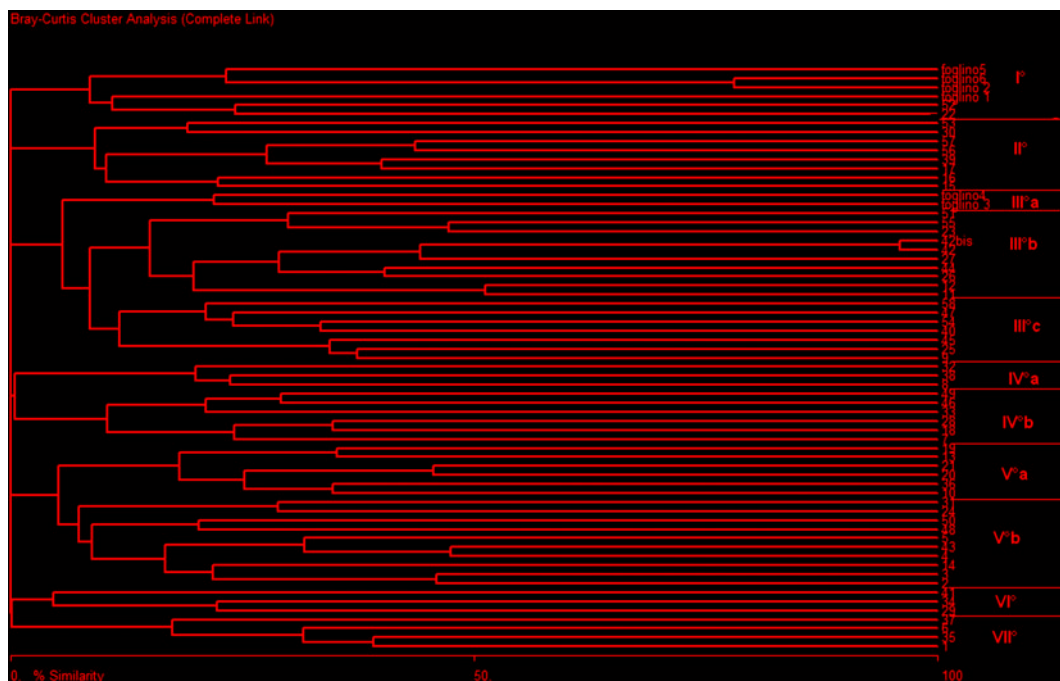


Fig. 3. Dendrogramma dei rilievi ottenuto dalla *Cluster Analysis* (CA). I *clusters* e i *sub-clusters* sono indicati con numeri romani e lettere.

L'osservazione delle medie degli ecoindicatori e dei parametri edafici calcolate per ogni cluster (Tab. 2), insieme alla forma di humus (Tab. A in Appendice) ha evidenziato differenze/somiglianze ecologiche che supportano la seguente classificazione floristica:

	I°	II°	III°a	III°b	III°c	IV°a	IV°b	V°a	V°b	VI°	VII°
H	1,26	2,30	2,69	1,23	0,75	0,56	1,75	1,18	1,49	1,32	1,07
L	3,22	4,79	4,34	3,12	2,96	3,00	3,90	3,10	3,82	2,84	3,50
T	6,95	6,39	5,87	7,12	8,17	8,44	8,10	6,99	7,11	6,18	7,83
K	1,04	2,66	2,64	0,90	0,27	0,22	0,93	0,95	1,28	0,89	0,84
F	5,39	6,28	6,34	5,38	4,66	4,33	4,36	5,68	5,02	6,00	4,30
R	6,96	7,54	7,74	7,11	7,40	7,37	7,26	7,25	6,90	7,20	7,02
N	5,33	6,24	6,68	5,26	3,30	2,87	3,43	5,70	4,85	6,17	3,68
S	0,36	0,75	0,88	0,32	0,27	0,28	0,58	0,30	0,65	0,21	0,45
R*N	37,10	47,19	51,60	37,34	24,43	21,19	24,92	41,37	33,51	44,32	25,91
pH	5,27	6,58	6,65	5,32	5,75	5,26	5,45	5,45	4,55	5,47	4,65
CC*orizzonti olorganici	21,92	32,15	35,46	38,21	31,04	29,92	29,09	33,94	33,67	29,68	41,08
CC solo suolo	17,82	24,70	37,55	16,88	16,60	9,26	15,40	19,65	18,59	23,98	27,01
CC totale	20,11	29,15	40,93	30,85	26,16	24,27	24,65	30,19	28,42	26,21	34,29
% C orizzonte A	2,07	4,90	4,05	2,01	2,37	1,20	1,76	2,48	2,42	4,50	1,57
% C totale	1,79	4,90	4,05	1,92	2,25	1,20	1,71	2,21	2,20	3,98	1,57

* capacità di campo

Tab. 2. Medie calcolate per ogni *cluster* degli ecoindicatori e dei parametri edafici misurati.

I°: cerrete con rinnovo dell'area di Foglino su suoli subacidi, humus mull, moder ed amphì con funzionalità medio-alta;

II°: frassineti a *Fraxinus oxycarpa* eliofili, continentali, umidi, basici, eutrofici, elevato contenuto di carbonio, humus mull con massima funzionalità distribuiti nella fascia interdunale;

III°a: boschi iperumidi dell'area di Foglino, con humus histomull, forma tipica di ambienti inondata ad elevatissima funzionalità;

III°b: cerrete submediterranee termofile con *Carpinus orientalis*, suoli basici e mesotrofici, humus mull, moder ed amphì, con media funzionalità, su duna antica;

III°c: leccete sciafile, termofile, xeriche, suoli basici e oligotrofici, humus amphì a bassa funzionalità, su duna recente;

IV°a: leccete sciafile, termofile, xeriche, suoli basici e oligotrofici, contenuto di carbonio molto basso, humus mull, moder ed amphì con minima funzionalità;

IV°b: sugherete termofile, xeriche, suoli tendenti al basico, oligotrofici, humus mull e amphì a bassa funzionalità;

V°a: cerrete semiumide con *Carpinus orientalis* e *Carpinus betulus*, su suoli tendenti al basico, humus mull prevalente con elevata funzionalità, su duna antica;

V°b: cerrete con *Erica arborea* a pH acido, elevato contenuto di carbonio, humus mull prevalente con funzionalità intermedia, su duna antica;

VI°: lauro-carpineti sciafili, mesofili, umidi, suoli eutrofici, ad elevato contenuto di carbonio, humus mull con elevata funzionalità, nel settore nord-est su substrato tufaceo;

VII°: cerrete ecotonali ad *Erica arborea* termofile, xeriche, oligotrofiche, suoli a basso contenuto di carbonio, humus moder e mull con funzionalità bassa.

Si osserva una corrispondenza tra humus e vegetazione quando ci riferiamo ai tipi principali di bosco cartografati [11; 38] e al primo livello di classificazione degli humus: le forme di humus di tipo amphi si rinvengono generalmente in corrispondenza della vegetazione sclerofilla, mentre le forme di humus di tipo mull in corrispondenza di boschi decidui più umidi (frassineti, lauro-carpineti, cerrete umide).

La classificazione della vegetazione effettuata in questo studio, corrisponde alle associazioni vegetali descritte nei lavori pregressi e rappresentate nella carta della vegetazione della Tenuta [11], tranne per i boschi a cerro e farnetto che l'attuale analisi floristica ed ecologica ha distinto in quattro tipi la cui distribuzione sembra in parte seguire la profondità della falda: cerrete sub-mediterranee a *Carpinus orientalis* (III°b) e cerrete semiumide a *Carpinus orientalis* e *Carpinus betulus* (V°a), nel settore centro-sud della Tenuta su falda più superficiale (10-25 m); cerrete a *Erica arborea* (V°b) temporaneamente inondate, diffuse sia nella zona centrale che a sud, su falda più profonda (10-30 metri); cerrete a *Erica arborea* ecotonali (VII°). La distribuzione di questi quattro tipi di cerrete è riportata in una mappa georeferita (Fig. 4).

Gradienti ecologici

L'indice di funzionalità degli humus R*N descrive un gradiente lineare lungo la serie dei boschi della Tenuta (Fig. 5a) che è compreso tra i boschi mediterranei a leccio e sughera con i valori più bassi (21.2-24.9), i boschi caducifogli a cerro e farnetto con valori intermedi (33.5-37.3) e i boschi mesoigrofilo (frassineti a *Fraxinus oxycarpa* e lauro-carpineti) con i valori più elevati (41.4-51.6).

La distribuzione dei valori dell'indice è in accordo con i seguenti gradienti ecologici:

- umidità del suolo espressa dall'indicatore F (Fig. 5b);
- temperatura dell'aria espressa dall'indicatore T-secondo un andamento decrescente (Fig. 5c);
- contenuto di carbonio - %C - misurato nel suolo (Fig. 5d).

I boschi con humus a più elevata funzionalità sono quelli più umidi, meno termofili e con più elevata quantità di carbonio nel suolo.

Relazioni tra indicatori e parametri

Dall'analisi delle correlazioni effettuata con il test non parametrico di Spearman emergono diverse correlazioni (Tab. 3) tra cui le più importanti, per le finalità di questo studio, sono:

- % C correlato positivamente con F, N ed R*N, inversamente con T
- pH misurato correlato positivamente con F, N, R*N, inversamente con T
- R*N correlato oltre che con i parametri sopracitati, con gli indicatori H, K, F, N positivamente e inversamente con T.

Correlazioni sono emerse anche all'interno del set degli indicatori.

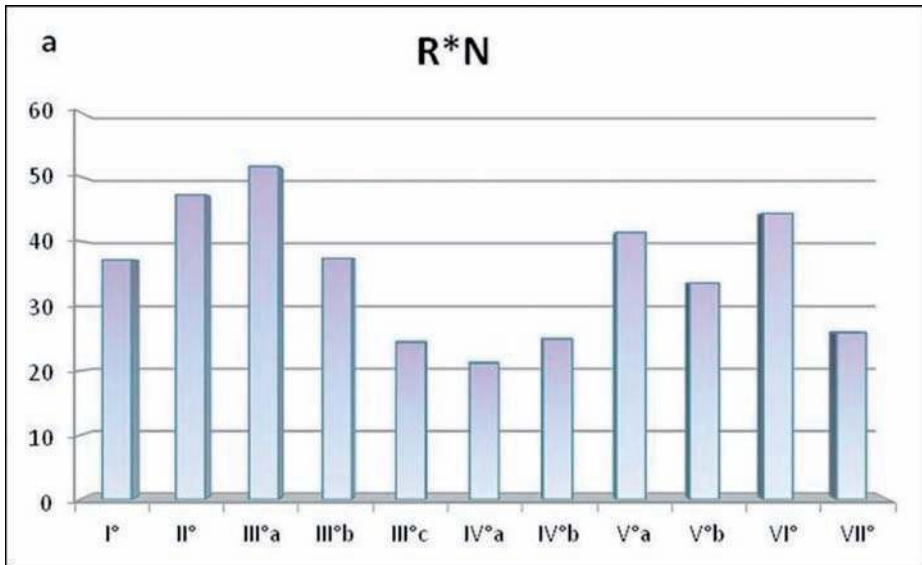


Fig. 5a. Gradiente dell'indice R*N di funzionalità dell'Humus nei boschi, indicati con i corrispettivi numeri dei clusters.

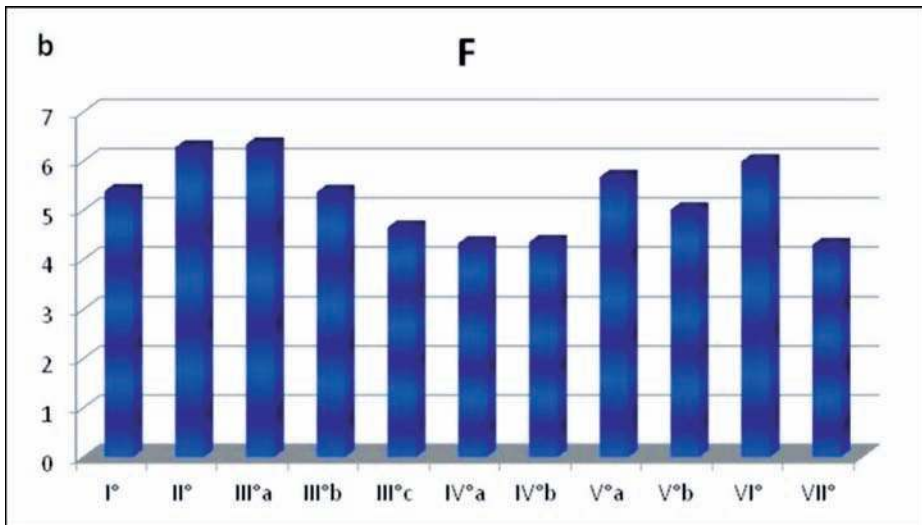


Fig. 5b. Gradiente dell'indicatore F di umidità del suolo nei boschi, indicati con i corrispettivi numeri dei clusters.

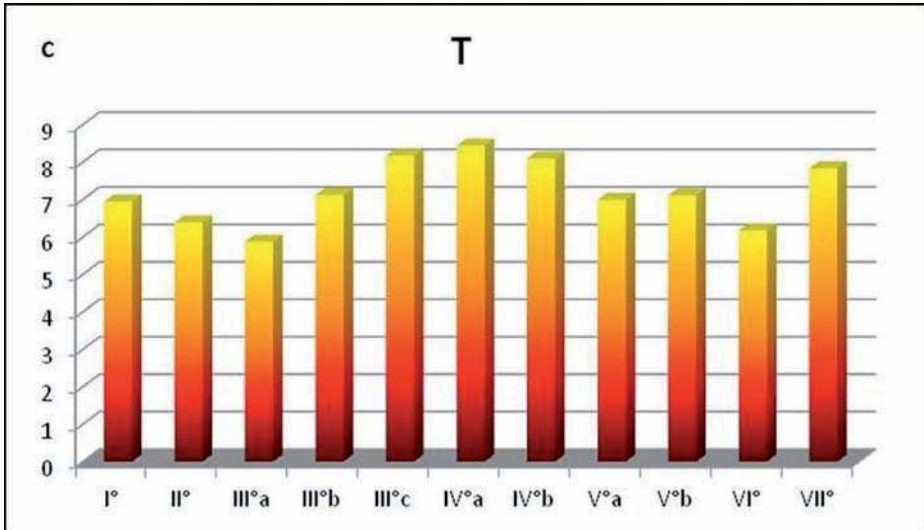


Fig. 5c. Gradiente dell'indicatore T di temperatura nei boschi, indicati con i corrispettivi numeri dei clusters.

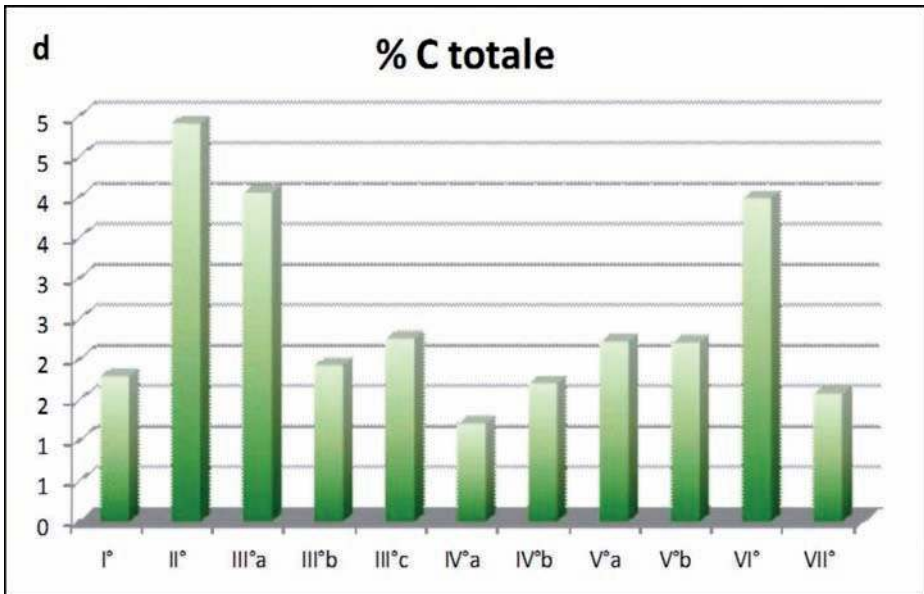


Fig. 5d. Gradiente del parametro del suolo misurato di carbonio (%) nei boschi, indicati con i numeri dei clusters.

	H	L	T	K	F	R	N	S	R*N	pH	CC*orizzonti olorganici	CC solo suolo	CC totale	% C totale
H	1,00													
L	0,72**	1,00												
T	-0,57**	-0,16	1,00											
K	0,82**	0,70**	-0,73**	1,00										
F	0,41**	-0,02	-0,87**	0,54**	1,00									
R	-0,36	-0,08	0,12	-0,19	0,12	1,00								
N	0,53**	0,11	-0,91**	0,67**	0,95**	0,02	1,00							
S	0,71**	0,97**	-0,14	0,67**	-0,06	-0,08	0,08	1,00						
R*N	0,50**	0,08	-0,88**	0,63**	0,94**	0,12	0,99**	0,05	1,00					
pH	0,09	-0,07	-0,26*	0,15	0,48**	0,43**	0,32*	-0,09	0,35**					
CC¹ orizzonti olorganici	-0,04	-0,07	0,01	-0,05	-0,01	0,04	-0,04	-0,08	-0,03	-0,06	1,00			
CC solo suolo	0,20	-0,02	-0,47**	0,32*	0,48**	0,09	0,46**	-0,01	0,46**	0,27*	0,45**	1,00		
CC totale	0,01	-0,05	-0,08	0,01	0,04	0,10	0,06	-0,05	0,07	0,01	0,95**	0,62**	1,00	
% C totale	0,23	0,05	-0,39**	0,25*	0,40**	0,13	0,37**	0,05	0,35**	0,22	-0,01	0,46**	0,14	1,00

¹ capacità di campo * p<0,05 ** p<0,01

Tab. 3. Output delle correlazioni del test non parametrico di Spearman. I colori evidenziano le correlazioni tra indicatori e parametri discusse nel testo.

Discussione

La vegetazione rappresenta un sistema intrinsecamente multidimensionale, in quanto la molteplicità delle specie di un popolamento vegetale non dipende mai da un solo fattore. Sono possibili quindi spiegazioni e addirittura classificazioni alternative e mutualmente complementari della vegetazione: una classificazione basata sui parametri termici non necessariamente corrisponderà ad una classificazione basata sulla disponibilità di nutrienti. I metodi di analisi multivariata e l'approccio fitosociologico tradizionale selezionano l'asse di maggiore variabilità, che però non esprime necessariamente né l'unico né il più significativo asse di variazione.

Nel caso da noi studiato, ci saremmo aspettati una corrispondenza tra forme di humus e classificazione tramite *Cluster Analysis* dei rilievi, che però non è stata evidenziata se non a grandi linee (mull-boschi decidui e amphi-boschi sclerofilli). Le forme di humus sono risultate al contrario correlate fortemente con un gradiente di variazione espresso dal prodotto degli indicatori di Ellenberg R^*N (Fig. 5a). Questo indice esprime l'interazione tra pH e disponibilità di nutrienti e rappresenta quindi un parametro dell'ecosistema che possiamo definire *funzionalità del suolo* [45; 40; 29].

Questo indice di funzionalità risulta collegato alla velocità del ciclo dei nutrienti, a sua volta legato all'umidità (Fig. 5a, b). La funzionalità maggiore – espressa numericamente dall'indice R^*N – è stata infatti trovata nei boschi più umidi: i frassineti azonali della fascia interdunale sub-costiera, i lauro-carpineti a nord, le cerrete a *Carpinus orientalis* e *Carpinus betulus* della zona sud e quelle ad *Erica arborea* della parte centrale (vedi mappa di distribuzione in Fig. 4). In questi boschi le forme di humus sono esclusivamente (nei frassineti e lauro-carpineti) o prevalentemente (nelle cerrete inondate) mull caratterizzati da un rapido turnover della lettiera: veloce mineralizzazione della lettiera e conseguente liberazione di elementi minerali, genesi per umificazione di grosse molecole umiche non solubili in acqua, formazione di legami tra molecole umiche e argille presenti nel suolo per formare i complessi argillo-umici; tali complessi trattengono gli elementi minerali liberati grazie a ponti ionici o a forze di Van der Waals che li rendono progressivamente disponibili per le piante grazie allo scambio cationico a livello radicale [13; 24]. A parte i frassineti azonali, si tratta dei boschi (lauro-carpineti e cerrete inondate) più antichi, legati alla successione primaria, riferibile ad una scala temporale di 100000 anni; al contrario, i boschi secondari rappresentati dalle leccete della duna recente (1000 anni) e le sugherete, molto legate al disturbo, hanno una bassa funzionalità (Fig. 5a).

Funzionalità dell'habitat e disturbo

La relazione esistente tra funzionalità (R^*N) e disturbo (H) (Tab. 3) spiega la coerenza tra humus e vegetazione nei boschi più antichi con ciclo di nutrienti più rapido, mentre in quelli più recenti e dove il carico del pascolo degli ungulati sel-

vatici è molto elevato, le forme di humus mostrano una distribuzione a mosaico e frammentata (Tab. A in Appendice). Diverse forme si sviluppano in aree irregolari e relativamente ridotte (1-100 metri quadrati) perdendo il legame con la vegetazione. Il disturbo è notoriamente anch'esso un fattore a molte dimensioni che generalmente interagiscono e/o si sovrappongono [16; 48]; per esempio, l'ingresso di specie termofile mediterranee nei boschi mesofili (Tab. B App.), può dipendere dalle alterazioni climatiche attuali o dal sovra-pascolo, ma i due fattori possono interagire lungo scale temporali e spaziali sicuramente osservabili, ma non misurabili.

In Tenuta esiste ancora un altro fattore interagente di carattere strutturale, ossia la presenza di ampie zone ecotonali, dovute alla coesistenza e contiguità dei tre biomi differenti precedentemente descritti; in queste zone l'impatto dei cinghiali diventa un fattore aggiuntivo con effetti devastanti sulla flora erbacea. A riprova di ciò è il fatto che i lauro-carpineti (VI°), che non si trovano in condizioni ecotonali e che hanno un bassissimo carico da cinghiali, presentano humus mull ad elevata funzionalità, una flora erbacea a copertura discreta, una struttura del bosco più tipica (Tab. B in Appendice); ugualmente il bosco di Foglino (I°) presenta una consistente ricchezza floristica e di rinnovamento negli strati erbaceo ed arbustivo, rispetto agli altri querceti a cerro e farnetto della Tenuta.

Sempre nell'ambito dei boschi decidui mesofili legati alla successione primaria su duna antica, ma dalla parte opposta del gradiente di funzionalità, si trovano le cerrete ad *Erica arborea* definite ecotonali (VII°), in cui è presente un cospicuo contingente di flora erbacea termofila (Tab. B in Appendice) con gli stessi valori di R*N (24.3) dei boschi sclerofilli secondari a leccio e sughera (IV°a e b), distribuiti all'estremo inferiore del gradiente (Fig. 5a). Le cerrete a *Erica arborea* ben strutturate (V°b) invece, presentano un valore intermedio di funzionalità (33.5) (Fig. 5a). Questi boschi, diffusi prevalentemente nel centro della Tenuta (Fig. 4), hanno humus soprattutto di tipo mull e ospitano una flora erbacea molto eterogenea, caratteristica sia di ambienti aperti come *Agrostis castellana*, di margine come *Carex flacca*, che umidi come *Juncus* spp. legati alle pozze temporanee: luce, umidità del suolo e disturbo che influenza l'ingresso delle specie di margine all'interno del bosco-sono fattori correlati (Tab. 3). Questo tipo di cerreta sembra essere una "cerniera" tra i boschi più recenti, xerici e/o disturbati e quelli più antichi, umidi, ad elevata funzionalità. Il ruolo di "cerniera" della cerreta a *Erica* era emerso anche in altri studi microclimatici [52; 23].

Funzionalità dell'habitat, nutrienti e relazioni vegetazione/humus

La funzionalità è in relazione alla quantità di carbonio che si accumula nell'orizzonte A del suolo negli humus di tipo mull (Tab. 3): questa relazione tra funzionalità, espressa dalla vegetazione (indice R*N) e carbonio, legato fisicamente alla forma di humus, è la "chiave" che spiega il rapido turnover della sostanza organica nei boschi più antichi e più umidi. Non si tratta di carbonio ereditato dalla vegeta-

zione, di resti vegetali ancora riconoscibili e poco trasformati, poiché questi vengono rapidamente biodegradati, ma di nuove molecole umiche di grosse dimensioni in grado di creare un ambiente adatto allo sviluppo delle piante durante lunghi periodi di tempo, con conseguente formazione di un ecosistema complesso e biodiverso. È nota la relazione tra forme di humus di tipo mull e alte concentrazioni di sostanze umiche ormono-simili di tipo auxinico [39], le quali influiscono positivamente sulla germinazione e sullo sviluppo delle piante.

Lo stato di acidità dei suoli è un altro fattore che influenza la disponibilità dei nutrienti [47]; nel nostro studio il pH misurato mostra delle relazioni con l'indicatore di umidità del suolo-F e con l'indice di funzionalità-R*N (Tab. 3). La sensibilità delle comunità batteriche all'acidità del suolo [7], alla disponibilità di nutrienti e alle modificazioni localizzate del loro ambiente [18] potrebbe spiegare l'eterogeneità delle forme di humus riscontrata nelle zone perturbate dai cinghiali. Questi animali arano il suolo nei primi 10-15 centimetri, sconvolgendo l'ordine degli orizzonti e generando delle micro-nicchie localizzate, nelle quali i processi di mineralizzazione e di umificazione della lettiera non seguono più un percorso lineare. Laddove la lettiera è più spessa, la forma di humus scivola verso i moder o gli amphi a seconda del pH; nelle aree più aperte o di ecotono essa subisce una più rapida mineralizzazione e la forma di humus più diffusa è il mull; all'ombra dei grandi alberi e dove vi è rimescolamento operato dai cinghiali, la parte superficiale del profilo del suolo risulta essere molto areata e ricca di sostanza organica sminuzzata e rielaborata dalla micro-pedofauna; in queste aree si genera una forma di humus complessa dotata di struttura "leggera e polverosa" assegnata a forme amphi di stampo nuovo, probabilmente più legate agli ecosistemi mediterranei.

Possiamo inquadrare i rapporti tra vegetazione e humus in un ciclo principale di feedbacks sostenuto dalla successione, dall'umidità e dai nutrienti e un secondo ciclo in cui il disturbo gioca il ruolo principale. È probabile che in condizioni di sovra-pascolo o dove ci sono più fattori di disturbo che agiscono a scale temporali diverse e sovrapposte, gli humus mostrino una distribuzione più frammentata; così, in molte cerrete, alcune forme classificate come mull (OH assente) potrebbero essere originariamente dei moder (OH presente) fortemente influenzati dal pascolo degli ungulati che rimuoverebbero l'orizzonte OH di tali forme. I moder infatti sono presenti nelle cerrete collinari non disturbate (Fanelli, *in verbis*). Nel ciclo secondario dei *feedbacks* vanno incluse le reciproche influenze tra flora erbacea e humus [53; 21]: infatti, anche la flora erbacea si disarrangia, si depauperizza e perde il legame con gli altri strati del bosco, per cui in molte zone della Tenuta l'impronta caratteristica di una determinata cenosi forestale è conservata solo dagli alberi dominanti, all'interno dei quali, comunque, è contenuta gran parte della biomassa del sistema.

Funzionalità e qualità

Può la funzionalità dell'humus essere intesa o comunque associata alla qualità dell'habitat?

La qualità ha tanti aspetti: in Italia è tradizionalmente riferita alla struttura del bosco; in questo studio abbiamo invece sottolineato l'aspetto legato alla funzionalità dell'ecosistema, espressa dai *feedbacks* tra humus e vegetazione. Questa funzionalità/qualità risulta di facile interpretazione e lettura, poiché è quantificata dai valori dell'indice R*N ben distribuiti lungo un gradiente di successione della vegetazione. Questo indice esprime un *pattern* altamente correlato sia con la vegetazione che con le forme di humus, mostrando dunque risultati analoghi a quelli descritti per il centro e nord Europa [45; 21].

Conclusioni

Le forme di humus sono correlate con l'indice di funzionalità R*N derivato dalla composizione floristica della vegetazione: il rapporto tra le due componenti dell'ecosistema dipende dall'interazione tra acidità dei suoli e disponibilità dei nutrienti. La funzionalità, che possiamo ricondurre alla qualità ambientale, varia all'interno della Tenuta secondo due scale temporali; una lunga di diverse migliaia di anni, l'altra breve che si sviluppa nel corso dei decenni: da una parte boschi decidui più antichi e più umidi, con humus mull a elevata funzionalità e struttura del bosco più complessa e più diversificata; dall'altra boschi più recenti, sempreverdi, sclerofilli, meno disturbati, con humus amphi o *patch* di amphi, moder e mull, e struttura del bosco semplificata nei siti più impattati. Rispetto alla scala temporale lunga, quindi, la qualità assume un significato assoluto, mentre su una scala spaziale e recente, il disturbo interagisce soprattutto con la distribuzione delle forme di humus e con la flora erbacea, disarrangiandole. In questo contesto torna di attualità la tesi di Margalef [31], che distingue la microevoluzione dalla macroevoluzione. Si tratta di due processi che connotano le vicende evolutive di ogni biocenosi, ma di cui si possono cogliere la coesistenza, l'interazione e l'integrazione, solo se si è in grado di valutarli in relazione alle specifiche scale temporali e areali in cui i due processi si realizzano. La macroevoluzione, quella ad esempio legata a processi successionali della foresta, deriva dall'integrazione di una moltitudine di cambiamenti locali microevolutivi, ma non può essere testimoniata efficacemente da nessuno di essi preso singolarmente. Per questa ragione, l'approccio integrato suolo/humus/vegetazione facilita la comprensione dei complessi rapporti esistenti in un ecosistema e suggerisce linee guida di gestione fondate sui rapporti trovati. Nella gestione degli habitat, quindi, è auspicabile adottare l'uso integrato di flora, humus, ecoindicatori della vegetazione e parametri edafici, anche per una classificazione ecologica dei siti. Pertanto, si riporta di seguito una tabella riassuntiva (Tab. 4) delle caratteristiche salienti dei siti in base alle quali vengono fornite

alcune indicazioni utili per la gestione e la conservazione dei boschi della Tenuta. Le indicazioni sono espresse in termini di protezione (P) per quei siti in cui è stata verificata coerenza tra flora, forma di humus e indice di funzionalità, di attenzione (Warning-W) per quelli in cui al contrario non è stata trovata coerenza ed è l'humus il fattore critico (W hum) o la vegetazione (W veg).

COD plot	TOPONIMO	est	nord	Tipo di bosco	Specie legnose dominanti con le coperture in %	Specie erbacee a copertura >5%	Tipo di Humus	Forma di Humus	R*N	I.G.
1	FARNETE particella 134 area 2	285448	4624785	CERRETA	<i>Quercus cerris</i> 70 <i>Quercus frainetto</i> 30 <i>Erica arborea</i> 70 <i>Phillyrea latifolia</i> 10	<i>Carex flacca</i> 40 <i>Juncus depauperatus</i> 10 <i>Ruscus aculeatus</i> 10	EUMODER	MODER	27,3	P
1 zanella	FARNETE particella 134 area 2	285448	4624785	CERRETA	<i>Quercus cerris</i> 70 <i>Quercus frainetto</i> 30 <i>Erica arborea</i> 70 <i>Phillyrea latifolia</i> 10	<i>Carex flacca</i> 40 <i>Juncus depauperatus</i> 10 <i>Ruscus aculeatus</i> 10	DYS/EUMODER	MODER	27,3	P
2	FARNETE particella 134 area 1	285419	4625002	CERRETA	<i>Quercus cerris</i> 40 <i>Quercus frainetto</i> 30 <i>Erica arborea</i> 20 <i>Phillyrea latifolia</i> 5	<i>Carex flacca</i> 60 <i>Agrostis castellana</i> 10 <i>Juncus depauperatus</i> 10 <i>Oryzopsis miliacea</i> 10	HEMIMODER	MODER	28,5	P
3	FARNETE particella 131 area 1	285610	4625515	CERRETA	<i>Quercus cerris</i> 40 <i>Quercus frainetto</i> 30 <i>Erica arborea</i> 60 <i>Phillyrea latifolia</i> 10	<i>Carex flacca</i> 20 <i>Agrostis castellana</i> 15 <i>Ruscus aculeatus</i> 10 <i>Juncus depauperatus</i> 5 <i>Juncus inflexus</i> 5	HEMIMODER	MODER	26,7	P
4	FARNETE particella 131 area 2	285724	4624878	CERRETA	<i>Quercus frainetto</i> 60, <i>Quercus cerris</i> 10, <i>Erica arborea</i> 70, <i>Phillyrea latifolia</i> 10	<i>Ruscus aculeatus</i> 60 <i>Carex flacca</i> 10 <i>Brachypodium sylvaticum</i> 5 <i>Juncus depauperatus</i> 5 <i>Agrostis castellana</i> 2	DYSMULL	MULL	28,3	W hum
5	FARNETE particella 134	285695	4624634	CERRETA	<i>Quercus cerris</i> 80 <i>Phillyrea latifolia</i> 15 <i>Myrtus communis</i> 10	<i>Juncus depauperatus</i> 70 <i>Rosa sempervirens</i> 5	EU/DYSMODER	MODER	34,1	P
6	FARNETE particella 131 area 3	286043	4624741	CERRETA	<i>Quercus cerris</i> 30 <i>Quercus frainetto</i> 30 <i>Quercus ilex</i> 30 <i>Fraxinus ornus</i> 25 <i>Phillyrea latifolia</i> 60 <i>Erica arborea</i> 10 <i>Juniperus oxycedrus</i> 10	<i>Ruscus aculeatus</i> 30	EUMESOAMPHI	AMPHI	29,2	W
7	SPAGNOLETTA	283744	4627044	SUGHERETA	<i>Quercus suber</i> 70 <i>Phillyrea latifolia</i> 60	<i>Stipa bromoides</i> 50 <i>Brachypodium sylvaticum</i> 10	HEMIMODER	MODER	24,2	
8	PONTE GUIDONE 1 ceduo	283934	4626362	LECCETA	<i>Quercus ilex</i> 80 <i>Erica arborea</i> 20 <i>Phillyrea latifolia</i> 20 <i>Arbutus unedo</i> 10		HEMIMODER	MODER	19,9	
9	PONTE GUIDONE 2 fustaia	283831	4626044	LECCETA	<i>Quercus ilex</i> 80 <i>Fraxinus ornus</i> 10 <i>Phillyrea latifolia</i> 5 <i>Pistacia terebinthus</i> 5	<i>Quercus ilex polloni</i> 30 <i>Oryzopsis miliacea</i> 5	EUMODER	MODER	24,1	
10	BANDITELLA	283760	4623281	CERRETA	<i>Quercus cerris</i> 70 <i>Quercus Frainetto</i> 5 <i>Carpinus orientalis</i> 80	<i>Ruscus aculeatus</i> 5	DYSMULL	MULL	41,5	W veg
11	FIGURELLA (Testi)	283237	4622836	CERRETA con sughera	<i>Quercus cerris</i> 25, <i>Quercus suber</i> 5, <i>Erica arborea</i> 60 <i>Carpinus orientalis</i> 20 <i>Phillyrea latifolia</i> 20 <i>Myrtus communis</i> 10 <i>Sorbus aucuparia</i> 5	<i>Stipa bromoides</i> 5	DYSMULL	MULL	26,0	W
12	CAMPO DI ROTA SUD	283597	4622929	CERRETA	<i>Quercus cerris</i> 70 <i>Carpinus orientalis</i> 25 <i>Phillyrea latifolia</i> 5	<i>Juncus depauperatus</i> 20 <i>Oryzopsis miliacea</i> 10 <i>Stipa bromoides</i> 5	EUMACRO/ LEPTOAMPHI	AMPHI	39,0	W veg

Tab. 4. Tabella riassuntiva con indicazioni gestionali relative ai siti di saggio rappresentativi dei boschi della Tenuta. Sono riassunte le caratteristiche salienti di ogni sito espresse dalla flora, forma e tipo di humus, valore dell'indice di funzionalità R*N. Le indicazioni sono espresse in termini di protezione -Protection-P o di attenzione -Warning-W per l'humus o per la vegetazione. P = da proteggere: coerenza tra humus e vegetazione
W = warning: incoerenza tra humus e vegetazione
W hum = non potenzialità per l'humus
W veg = non potenzialità per la vegetazione: incoerenza tra specie del sottobosco e tipo di bosco, assenza o scarsa copertura delle specie del sottobosco.

APPENDICE

Tab. A. Forme di humus classificate in Tenuta e nel bosco di Foglino, raggruppate in base ai *clusters* di vegetazione. Ogni *cluster* – tipo di bosco – è caratterizzato da ecoindicatori, parametri edafici misurati e forma di humus.

Clusters	Humus: I° livello di classificazione	Humus: II° livello di classificazione	N° rilievo fitosociologico	Indicatori discriminanti	Parametri misurati discriminanti
	mull	dysmull	foglino 5	R*N	pH
I°	moder/amphi	hemimoder/eumesoamphi	foglino 6		
	mull	eu/mesomull	foglino 2		
	moder	hemi/eumoder	foglino 1		
	amphi	pachiamphi	52		
	moder	eumoder	22		
	mull	oligomull	53	L, K, F, R, N, R*N	%C
	mull	oligomull	30		
	mull	eumull	57		
II°	mull	eu/mesomull	56		
	mull	oligomull	39		
	mull	meso/eumull	17		
	mull	oligomull	16		
	mull	mesomull	15		
III°a	mull/histomull	eumull/limimull	foglino 4	K, F, R, N, R*N	
III°a	histomull	saprimull	foglino 3		
	amphi	leptoamphi	51	T, K, R,N, R*N	
	moder	dysmoder	55		
	moder	hemimoder	23		
III°b	mull	oligomull	42bis		
	mull	dysmull	42		
	mull	oligomull	27		
	amphi	eumacro/leptoamphi	44		
	mull/moder	dysmull/hemimoder	26		
	amphi	lepto/eumacroamphi	12		
	mull	dysmull	11		
	amphi	leptoamphi	58	L, T, F, R, R*N	
	amphi	eumesoamphi	47		
III°c	moder	eu/dysmoder	54		

	amphi	eumesoamphi	40		
	amphi	eumacro/leptoamphi	45		
	amphi	eumesoamphi	25		
	moder	eumoder	9		
	mull	oligomull	32	L, T, F, R, R*N	%C
IV°a	amphi	leptoamphi	38		
	moder	hemimoder	8		
	amphi	lepto/eumacroamphi	49		
IV°b	mull	oligo/dysmull	46	T, F, R, N, R*N	
	mull	dysmull	33		
	mull	oligomull	28		
	amphi	pachiamphi	18		
	moder	hemimoder	7		
	mull	dysmull	19	F, R, R*N	
	amphi	lepto/eumacroamphi	13		
V°a	mull	oligomull	21		
	mull	dysmull	20		
	mull	oligomull	36		
	mull	dysmull	10		
	moder	dysmoder	31	R*N	pH, C%
	amphi	pachiamphi	24		
V°b	mull	dysmull	50		
	mull	dysmull	48		
	mull	dysmull	5		
	mull	oligo/dysmull	43		
	mull	dysmull	4		
	mull	oligomull	14		
	moder	hemimoder	3		
	mull	dysmull	2		
VI°	mull	dysmull	41	L, T, F, N, R*N	C%
	mull	dysmull	34		
	mull	eumull	29		
	moder	eumesoamphi/hemimoder	37	T, F, N, R*N	%C
VII°	mull	dysmull	6		
	mull	dysmull	35		
	moder	dysmoder/eumoder	1		

<i>Euonymus europaeus arb2</i>	50									
<i>Euonymus europeaus pl.</i>	33		10							
<i>Fragaria vesca</i>	33									
<i>Fraxinus ornus arb2</i>	67									
<i>Hypericum australe</i>	17									
<i>Lathyrus vernus</i>	17									
<i>Ligustrum vulgare arb2</i>	33									
<i>Melica arrecta</i>	17									
<i>Lonicera etrusca</i>	17									
<i>Mespilus germanica arb2</i>	33									
<i>Mespilus germanica pl.</i>	50									
<i>Oenanthe pimpinelloides</i>	17	13								
<i>Pulicaria odora</i>	17									
<i>Ranunculus bulbosus</i>	17						10			
<i>Ranunculus paludosus</i>	17									
<i>Rumex sanguineus</i>	17	50								
<i>Stachys officinalis</i>	50				17		20			
<i>Stachys sylvatica</i>	17									
<i>Tamus communis a</i>	17									
<i>Teucrium siculum</i>	50									
<i>Ulmus minor arb2</i>	17									
<i>Urospermum dalechampii</i>	17									
<i>Veronica serpyllifolia</i>	17									
<i>Rubus ulmifolius arb2</i>	67	13	50	10	33		33			
<i>Asphodelus microcarpus</i>	67			20			17	33	10	
<i>Fraxinus oxycarpa a</i>		88	50							
<i>Fraxinus oxycarpa b</i>		38	50							
<i>Fraxinus oxycarpa pl.</i>		13								
<i>Tanacetum parthenium</i>		100								
<i>Datura stramonium</i>		13								
<i>Ficus carica b</i>		13								
<i>Galega officinalis</i>		13								
<i>Moebringia pentandra</i>		25								
<i>Moebringia trinervia</i>		13								
<i>Melissa romana</i>		13								
<i>Poa annua</i>		13								
<i>Poa trivialis</i>		13								
<i>Polygonum hydropiper pl.</i>		13								
<i>Populus alba a</i>		13								
<i>Populus alba b</i>		13								

<i>Populus alba pl.</i>		13								
<i>Populus canescens a</i>		25								
<i>Pulicaria dysenterica</i>		13								
<i>Raphanus raphanistrum ssp. raphanistrum</i>		13								
<i>Rubus caesius arb2</i>	17	38		17						
<i>Rubus caesius pl.</i>		38		20		17	17	10		
<i>Rubus casesius Saplings</i>		13								
<i>Rumex crispus</i>		13								
<i>Ulmus minor b</i>		63						10		
<i>Ulmus minor pl.</i>		50		17				10		
<i>Asparagus aphylllos</i>		13								
<i>Allium pendulinum</i>	50		100							
<i>Arisarum proboscideum</i>	17		100							
<i>Alnus glutinosa a</i>		25	50							
<i>Alnus glutinosa arb1</i>			50							
<i>Alnus glutinosa b</i>			50							
<i>Calitriche stagalii</i>			50							
<i>Cardamine raphanifolia</i>			50							
<i>Carex remota</i>			100							
<i>Euonymus europaeus arb1</i>			50							
<i>Ligustrum vulgare pl.</i>		13	50	10						
<i>Lonicera caprifolium</i>	50		50							
<i>Lysimachia numularia</i>			50							
<i>Lysimachia vulgaris</i>			50							
<i>Mentha acuatia</i>			50							
<i>Poa sylvicola</i>			50							
<i>Ranunculus ficaria ssp. ficariiformis pl.</i>	17		100		17	17	17	50	33	
<i>Rumex obtusifolium</i>			50							
<i>Fraxinus ornus a</i>				10						
<i>Allium triquetrum</i>	17			50			17	40		
<i>Anemone apennina</i>				10						
<i>Arisarum vulgaris</i>		13		40	17					33
<i>Cyclamen repandum</i>	17			60	33	33	17	17	20	33
<i>Euphorbia amygdaloides pl.</i>				10						
<i>Geranium robertianum</i>				60		33		17		
<i>Lamium bifidum</i>				40						
<i>Myrtus communis arb2</i>	17			40	17		17			33
<i>Phillyrea lat arb2</i>	33	25		60	50	33	33	17	20	33

<i>Phillyrea latifolia b</i>		25		40	17	33	17	17			
<i>Ranunculus muricatus</i>				10							
<i>Rhamnus alaternus pl.</i>				10							
<i>Rubus caesius</i>	17	13		30	17		17				
<i>Rumex pulcher pl.</i>				10							
<i>Silene alba</i>				10							
<i>Sorbus aucuparia b</i>				10							
<i>Spartium junceum arb2</i>				10							
<i>Crataegus mon pl</i>				50			33	17			
<i>Crataegus monogyna b</i>				10							
<i>Crataegus monogyna arb1</i>		25	50	20			33	50	20		
<i>Quercus ilex a</i>					100	100					33
<i>Quercus ilex dominato b</i>	17	25		20	17	33	33	17		33	33
<i>Quercus ilex arb1</i>				10	33	33	17				
<i>Quercus ilex pl</i>		13			50	67	17	17			
<i>Quercus ilex saplings</i>					17	33					
<i>Quercus suber b</i>						33	33				
<i>Pistacia lentiscus arb1</i>					33	33	33				
<i>Pistacia lentiscus arb2</i>	17	13			50	67	50				
<i>Erica arborea pl.</i>					33						
<i>Phillyrea latifolia a</i>					17						
<i>Rosa sempervirens pl.</i>					17						
<i>Smilax aspera a</i>					17						
<i>Myrtus communis arb1</i>				20	17	33	17	17	30		33
<i>Aristolochia rotunda</i>						33					
<i>Smilax aspera pl.</i>	17				17	33	0		20		
<i>Pteridium aquilinum</i>	17	13		10		33	0				
<i>Cistus salvifolius arb2</i>	17						50				
<i>Cistus salvifolius pl.</i>							17				
<i>Cistus salvifolius</i>							17				
<i>Leopoldia comosa</i>							17				
<i>Aira caryophyllaea ssp. caryophyllaea</i>							17				
<i>Anthoxanthum odoratum</i>							17				
<i>Arbutus unedo pl.</i>							17				
<i>Cytisus scoparius pl.</i>							17				
<i>Cytisus villosus</i>							17				
<i>Cytisus villosus pl.</i>				10	17		17	17			
<i>Stipa bromoides</i>		13		50			83				33
<i>Bellis perennis</i>							17				

<i>Quercus robur b</i>										10		
<i>Ranunculus opbiglossifolius</i>										10		
<i>Reichardia picroides</i>										10		
<i>Scilla autumnalis</i>										10		
<i>Agrostis stolonifera</i>										10		
<i>Carpinus betulus a</i>	17										67	
<i>Carpinus betulus arb1</i>											33	
<i>Carpinus betulus pl.</i>									10		33	
<i>Carpinus betulus sap</i>											33	
<i>Corylus avellana b</i>											33	
<i>Laurus nobilis arb 2</i>				10	17						33	
<i>Laurus nobilis arb1</i>											33	
<i>Laurus nobilis b</i>		25		20	0			17			67	
<i>Laurus nobilis pl.</i>		13			33		17	17	10		100	
<i>laurus nobilis sap</i>											33	
<i>Populus canescens</i>		13									33	
<i>Ostrya carpinifolia a</i>											33	
<i>Carex pendula</i>											33	
<i>Acer campestre arb1</i>											33	
<i>Acer campestre pl.</i>											67	
<i>Arisarum vulgare pl.</i>											33	
<i>Asplenium onopteris</i>					33				10		67	33
<i>Cornus mas arb1</i>											33	
<i>Mercurialis annua</i>											33	
<i>Mercurialis perennis</i>											33	
<i>Quercus ilex arb2</i>					17		17				33	
<i>Arbutus unedo arb1</i>						33	33					67
<i>Quercus suber a</i>				10	17	67	100		10			67
<i>Carex flacca ssp flacca</i>	33			10	17		17	17	60			67
<i>Erica arborea saplings</i>									10		33	
<i>Fraxinus ornus arb1</i>					17				10			33
<i>Fraxinus ornus dominato b</i>				10								33
<i>Juniperus communis arb1</i>									10			33
<i>Juniperus communis arb2</i>				10					10			33
<i>Juniperus oxycedrus arb1</i>									10			33
<i>Myrtus communis pl.</i>				20					30			100
specie ubiquiste ad alta frequenza												
<i>Asparagus acutifolius</i>	17	25		90	67		83	17	20	33		
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	50	63	50	80	33		83	67	70	100	33	
<i>Ruscus aculeatus</i>	67	13	100	80	67		33	100	70	100	100	

<i>Ruscus aculeatus pl.</i>	50			30	17	33			20	33	33
<i>Smilax aspera</i>	17	50		90	67	33	83	83	20	33	33
specie ubiquiste a bassa frequenza											
<i>Rubia peregrina</i>	33	13		30	33		33		10		33
<i>Stellaria media</i>		13	50	30	17	33	17	17			
Specie compagne legnose											
<i>Acer campestre a</i>		13		20							
<i>Acer campestre b</i>								33		33	
<i>Arbutus unedo a</i>					17						
<i>Carpinus orientalis arb1</i>				20							
<i>Carpinus orientalis arb2</i>				20							
<i>Cornus sanguinea arb1</i>		13	50					17			
<i>Crataegus monogyna arb2</i>	17	13		20			50		30		
<i>Erica arborea a</i>					17						
<i>Erica arborea arb2</i>				30	17				10		
<i>Fraxinus ornus pl.</i>					17				20		
<i>Ligustrum vulgare arb1</i>			50								
<i>Phillyrea latifolia</i>							17				
<i>Phillyrea latifolia saplings</i>							17	17	20	33	33
<i>Pinus pinea a</i>				10							
<i>Pistacia lentiscus pl</i>									10		
<i>Prunus spinosa arb1</i>		13							10		
<i>Quercus robur pl.</i>		13			17				20		
<i>Quercus pubescens a</i>					17		33		10		
<i>Quercus pubescens b</i>							17				
<i>Quercus robur a</i>		13		20	17			17	20		
<i>Quercus frainetto pl.</i>	17			20							33
<i>Quercus pubescens pl.</i>							33				
<i>Quercus robur arb2</i>									10		
<i>Juniperus oxycedrus pl.</i>								17	10		
<i>Juniperus phoenicius arb2</i>					17						
<i>Malus sylvestris b</i>		13							10		
<i>Rosa sempervirens arb1</i>				20							
<i>Rosa sempervirens arb2</i>							33				
specie compagne erbacee											
<i>Alliaria petiolata</i>		38		10				33		33	
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	33								10		
<i>Aristolochia rotunda</i>	17	13		10					10		
<i>Asplenium adiantum nigrum</i>									10		
<i>Ajuga reptans</i>	33	13						33	10		

<i>Brachypodium sylvaticum pl.</i>									10		
<i>Cardamine hirsuta</i>		38							0		
<i>Carex distachya</i>		25		10	17				10		
<i>Catapodium rigidum</i>		13		10			17				
<i>Clematis vitalba</i>		25	50								
<i>Cynosurus ecbinatus</i>									10		
<i>Dactylis glomerata ssp glomerata</i>				20				17			
<i>Dactylis glomerata ssp. hispanica</i>							17		10		
<i>Daphne gnidium</i>	33				17		33		10		
<i>Galactites tomentosa</i>									10		
<i>Galium aparine</i>							17		10		
<i>Galium elongatum</i>									10		
<i>Geranium robertianum pl.</i>								17			
<i>Hypericum perforatum</i>				10					10		
<i>Inula viscosa</i>		13		20					10		
<i>Leontodon tuberosus</i>	17			10				17	10		
<i>Lonicera implexa</i>					17						
<i>Luzula forsteri</i>	33			30					20	33	
<i>Melica uniflora</i>				10					10		
<i>Ranunculus lanuginosus</i>	17	13	100					17	10	33	
<i>Ranunculus repens</i>			50								
<i>Rosa sempervirens</i>		13							10	33	
<i>Rubus ulmifolius pl.</i>	17				33			17			
<i>Rubus ulmifolius saplings</i>							17		20		
<i>Tamus communis</i>	17		50	10	17						
<i>Verbascum sinuatum</i>		13									
<i>Veronica montana</i>			50		33						
<i>Viola alba ssp. denbardi</i>								17		33	
<i>Viola reichenbachiana</i>	17		50								
<i>Vitis vinifera (rampicante) b</i>		13									

Legenda

a: strato arboreo dominante

b: strato arboreo dominato

arb1: strato arbustivo alto

arb2: strato arbustivo basso

pl: plantule

saplings: alberelli di 5-6 m.

FOTO



Foto 1. Bosco a *Fraxinus oxycarpa* con humus mull (loc. Strada del Telefono).



Foto 2. Bosco a *Quercus ilex* con humus amphi (loc. Grotta di Piastra).



Foto 3. Bosco a *Quercus suber* con humus amphi (loc. Spagnoletta di Sopra).



Foto 4. Bosco a *Quercus cerris* e *Quercus frainetto* con *Erica arborea* con humus moder (loc. Acquedotto).



Foto 5. Bosco a *Quercus cerris* e *Quercus frainetto* con *Carpinus betulus* con humus mull (loc. Capocotta).



Foto 6. Bosco a *Laurus nobilis* e *Carpinus betulus* con humus mull (loc. Valle Renaro).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Aber J.D., Botkin D.B., Melillo J.M., 1978. Predicting the effects of different harvesting regimes on forest floor dynamics in northern hardwoods. *Can. J. For. Res.* 8, 306-315.
- [2] Bartoli M., Tran-Ha, M., Largier G., Dumé G., Larrieu L., 2000. ECOFLORE, un logiciel simple de diagnostic écologique. *Rev. For. Fr.* 52, 530-546.
- [3] Bernier, N., 1996. Altitudinal changes in humus form dynamics in a spruce forest at the montane level. *Plant Soil* 178, 1-28.
- [4] Bianco P.M., Testi A., Belisario F. and Guidotti S., 2003. Vegetation patterns in the succession from wood fringes towards woodlands. *Rend. Mat. Acc. Lincei*, 9(14):26 pp.
- [5] Braun-Blanquet J., 1928. Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde - Biologische Studienbücher 7. 1. Ed. Berlin., 330 pp.
- [6] Brêthes A., Brun J.J., Jabiol B., Ponge J.F., Toutain F., 1992. Typologie des formes d'humus. In: Association française pour l'étude du sol. Référentiel pédologique. INRA: 177-192.
- [7] Carletti P., Vendramin E., Pizzeghello D., Concheri G., Zanella A., Nardi S., Squartini A., 2009. Soil humic compounds and microbial communities in six spruce forests as function of parent material, slope aspect and stand age. *Plant and Soil*. vol. 315, pp. 47-65.
- [8] Coleman D.C., Crossley D.A.Jr., Hendrix P.F., 2004. *Fundamentals of soil ecology*, 2nd ed. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- [9] Crosti R., Fabrini G., 2010. Integrated conservation of the rare and endangered thermophilous species *Cyperus polystachyus*: investigation on recruitment strategies and short-term assessment of translocation. *Annali di Botanica* n. s. 2010: 129-137.
- [10] Delecour F., 1978. Facteurs édaphiques et productivité forestière. *Pédologie* 28, 271-284.
- [11] Della Rocca A.B., Pignatti S., Bianco P.M., Mugnoli S., 2001. La carta della vegetazione della Tenuta di Castelporziano. In: *Il sistema ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano*, vol. II: 709-748. Accademia delle Scienze, Roma.
- [12] Dowgiallo G., Biondi F.A., 2001. I suoli. In: Pignatti S., Bianco P.M., Tescarollo P., Scarascia-Mugnozza G.T., *La vegetazione della Tenuta Presidenziale di Castelporziano*. Accademia Nazionale delle Scienze, Scritti e Documenti XXVI, Roma.
- [13] Duchaufour P., 1983. *Pédogenèse et classification*, 2e Edition, Masson, 491.
- [14] Duchaufour P., 1989. *Pédologie et groupes écologiques*. I. Rôle du type d'humus et du pH. *Bull. Ecol.*, t. 20, 1, 1-6.
- [15] Ellenberg H., 1979. Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropa (Indicator values of vascular plants in Central Europe) - "Scripta Geobotanica", 9 2^e edition, Göttingen.
- [16] Fanelli G., Testi A., 2008. Detecting large and fine scale patterns of disturbance in towns by means of plant species inventories: maps of hemeroby in the town of Rome - In: *Urbanization: 21st Century Issues and Challenges*. (Ed.) Nova Publisher, NY.
- [17] Fanelli G., Tescarollo P., 2006. Il rinnovamento delle specie arboree caducifoglie a Castelporziano. In: *Il Sistema Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo*. Accademia delle Scienze, "Scritti e Documenti" XXXVII, Seconda Serie, Vol. II: 565-605.
- [18] Frey S.D., 2007. Spatial distribution of soil organisms. In *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry*. 3rd Ed. Eldor A. Paul: 283-300.
- [19] Galvan P., Ponge J.-F., Chersich S., Zanella A., 2008. Humus Components and Soil Biogenic Structures in Norway Spruce Ecosystems. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 2008; 72: 548-557.
- [20] Gobat J.-M., Aragno M., Mathey W., 2010. *Le sol vivant*. Bases de pédologie - Biologie des sols. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR), 820.
- [21] Godefroid S., Massant W., Koedam N., 2005. Variation in the herb species response and the humus quality across a 200-year chronosequence of beech and oak plantations in Belgium. *Ecography* 28, 223-235.

- [22] Gönnert T., 1989. Ökologische Bedingungen verschiedener Laubwaldgesellschaften des Nordwestdeutschen Tieflandes. *Dissertationes Botanicae* 136, 1-224.
- [23] Guidotti S., Pignatti A., Testi A., 2010. Microclimatic responses of plant communities to climatic changes: a study case in the Mediterranean coastal vegetation near Rome. *Ann. Bot.*, vol. 0: 139-148.
- [24] Horwath W., 2007. Carbon cycling and formation of soil organic matter. In : *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry*. 3rd Ed. Eldor A. Paul: 303-339.
- [25] Jabiol B., Brethes A., Brun J., Ponge J.F., Toutain F., 1995. Classification of forest humus forms: a French proposal - *Ann. Sci. For.*, 52: 535-546.
- [26] Klinka K., Wang Q., Carter R.E., 1990. Relationships among humus forms, forest floor nutrient properties, and understory vegetation. *For. Sci.* 36, 564-581.
- [27] Koerner W., Dupouey J.L., Dambrine E., Benôt M., 1997. Influence of past land use on the vegetation and soils of present day forest in the Vosges mountains, France. *J. Ecol.* 85: 351-358.
- [28] Kowarik I., 1990. Some responses of flora and vegetation to urbanization in Central Europe - In: H. Sukopp, S. Hejny, I. Kowarik (Editors), *Urban Ecology. Plants and plant communities in urban environments*. SPB Academic Publishing The Hague.
- [29] Legros J.P., 2007. *Les grands sols du monde*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR), 574.
- [30] Mallik A.U. & Newton, P.F., 1988. Inhibition of black spruce seedling growth by forest-floor substrates of Central Newfoundland. *For. Ecol. Manage.* 23: 273-283.
- [31] Margalef R., 1982. Energia esomotica: successione, evoluzione e stabilità dei sistemi naturali. *Corsi di Cultura in Ecologia*, Università di Padova.
- [32] McAleece N., 1997. *BioDiversity Professional software*. Version 2. The natural History Museum and the Scottish Association for Marine – Science.
- [33] Möller H., 1987. Beziehungen zwischen Vegetation und Humuskörper in der Eilenriede (Hannover), einem Stadtwald mit menschlich beeinflussten Böden. *Tuexenia* 7, 427-446.
- [34] Montelucci G., 1976. Lineamenti della vegetazione del Lazio. *Ann. Bot. (Roma)* 35-36: 1-107.
- [35] Nielsen, K.E., Dalsgaard K., Nørnberg P., 1987. Effects on soils of an oak invasion of a Calluna heath, Denmark. I. Morphology and chemistry. *Geoderma* 41: 79-95.
- [36] Ovington J.D., 1954. Studies of the development of woodland conditions under different trees. II. The forest floor. *J. Ecol.* 42: 71-80.
- [37] Pedroli B., Vos W., Dijkstra H., Rossi R., 1988. The Farma River barrage effect study: A landscape impact assessment procedure applied to the Farma Valley derivation plans (Tuscany, Italy) - *Studio degli effetti ambientali della diga sul Torrente Farma Progetto Toscana*. Serie di ambiente, territorio. pp. 370 Marsilio Editori, Venezia.
- [38] Pignatti S., Bianco P.M., Tescarollo P., Scarascia-Mugnozza G.T., 2001. *La vegetazione della Tenuta Presidenziale di Castelporziano*. Accademia Nazionale delle Scienze, Scritti e Documenti XXVI, Roma.
- [39] Pizzeghello D., Zanella A., Carletti P., Nardi S., 2006. Chemical and biological characterization of dissolved organic matter from silver fir and beech forest soils. *Chemosphere* 65: 190-200.
- [40] Ponge J.F. & Chevalier R., 2006. Humus Index as an indicator of forest stand and soil properties. *Forest Ecology and Management* 233: 165-175.
- [41] Ponge J.F., 2003. Humus forms in terrestrial ecosystems: a framework to biodiversity. *Soil Biol. Biochem.* 35, 935-945.
- [42] Ponge J.F., André J., Zackrisson O., Bernier N., Nilsson M.C., Gallet C., 1998. The forest regeneration puzzle. *BioScience* 48, 523-530.
- [43] Ponge J.F., Arpin P., Sondag F., Delecour F., 1997. Soil fauna and site assessment in beech stands of the Belgian Ardennes. *Can. J. For. Res.* 27, 2053-2064.
- [44] Ponge J.F. & Delhay L., 1995. The heterogeneity of humus profiles and earthworm communities in a virgin beech forest. *Biol. Fert. Soils* 20, 24-32.

- [45] Rogister J., 1978. De ekologische mR-en mN-waarden van de kruidlaag en de humuskwaliteit van bosplantengezelschap- pen. / Proefstation van Waters en Bossen.
- [46] Salmon S., Mantela J., Frizzera L., Zanella A., 2006. Changes in humus forms and soil animal communities in two developmental phases of Norway spruce on an acidic substrate. *Forest Ecology and Management* 237: 47-56.
- [47] Seidling W. & Rohner M.-S., 1993. Zusammenhänge zwischen Reaktions-Zeigerwerten und bodenchemischen Parametern am Beispiel von Waldbodenvegetation. *Phytocoenologia* 23, 301-317.
- [48] Serra G., 2008. Analisi dei suoli e delle forme di humus delle principali tipologie boschive della Sardegna, Gianluca Serra – Dottorato di ricerca in Difesa e Conservazione del Suolo, Vulnerabilità Ambientale e Protezione Idrogeologica (XVIII ciclo), Università di Cagliari.
- [49] Società Italiana della Scienza del Suolo, 1985. Metodi normalizzati di analisi del suolo - Edagricole, Bologna.
- [50] Soil Survey Staff, 1975. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys - Agriculture Handbook n° 436.
- [51] Soil Survey Staff, 1998. Keys to Soil Taxonomy - Eight edition.
- [52] Testi A., De Nicola C., Guidotti S., Serafini-Sauli A., Fanelli G., Pignatti S., 2006. Vegetation ecology of Castelporziano woodlands. In: Il Sistema Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo. Accademia delle Scienze, "Scritti e Documenti" XXXVII, Seconda Serie, Vol. II: 565-605.
- [53] Testi A., De Nicola C., Dowgiallo G., Fanelli G., 2009. Correspondences between plants and soil/environmental factors in beech forests of Central Apennines: from homogeneity to complexity. *Rend. Fis. Acc. Lincei*, 21 (1): 27-43 (published on line 2009: DOI 10.1007/s12210-009-0054-8).
- [54] Topoliantz S. & J.F. Ponge. 2000. Influence of site conditions on the survival of *Fagus sylvatica* seedlings in an old-growth beech forest. *J. Veg. Sci.* 11: 369-374.
- [55] Toutain F. & Duchaufour P., 1970. Étude comparée des bilans biologiques de certains sols de hêtraie. *Ann. Sci. For.* 27, 39-61. hal-00495387, version 1 - 25 Jun 2010.
- [56] Toutain F., 1981. Les humus forestiers: structures et modes de fonctionnement. *Revue Forestière Française* 33, 449-477.
- [57] Tüxen R., 1979. Die Pflanzengesellschaften Nordwest Deutschland, 2° ed., Cramer Vaduz.
- [58] Ulrich B., 1994. Process hierarchy in forest ecosystems: an integrative ecosystem theory. In: Hutterman, A., Godbold, D. (Eds.), *Effects of Acid rain on Forest Processes*. Wiley-Liss, New York, pp. 353-397.
- [59] Wallwork J.A., 1970. *Ecology of soil animals*. McGraw-Hill, London.
- [60] Wilson S.McG., Pyatt D.G., Malcolm D.C., Connolly T., 2001. The use of ground vegetation and humus type as indicators of soil nutrient regime for an ecological site classification of British forests. *For. Ecol. Manag.* 140, 101-116.
- [61] Zanella A., Tomasi M., De Siena C., Frizzera L., Jabiol B., Nicolini G., Sartori G., Calabrese M.S., Mancabelli A., Nardi S., Pizzeghello D., Odasso M., 2001. Humus Forestali. Manuale di ecologia per il riconoscimento e l'interpretazione. TRENTO: Centro di Ecologia Alpina, p. 321.
- [62] Zanella A., Jabiol B., Ponge J.F., Sartori G., de Waal R., van Delft B., Graefe U., Cools N., Katzensteiner K., Hager H., Englisch M., Brethes A., Broll G., Gobat J.M., Brun J.-J., Milbert G., Kolb E., Wolf U., Frizzera L., Galvanq P., Kollir R., Baritzs R., Kemmerse R., Vaccat A., Serrat G., Banasu D., Garlatov A., Chersichw S., Klimoz E. & Langohrg R., 2011a. European humus forms reference base. http://hal.archivesouvertes.fr/docs/00/56/17/95/PDF/Humus_Forms_ERB_31_01_2011.pdf
- [63] Zanella A., Jabiol B., Ponge J.F., Sartori G., Waal De R., Delft Van B., Graefe U., Cools N., Katzensteiner K., Hager H. Englisch M., 2011b. A European morpho-functional classification of humus forms. *GEODERMA*, vol. 164; 138-145.

ALESSANDRA TRINCHERA¹ – VALENTINA BARATELLA¹
MARCO RENZAGLIA¹ – ANNA BENEDETTI¹

Caratterizzazione delle sostanze umiche in profili di suoli forestali della Tenuta di Castelporziano

Abstract – *Characterization of the humic substances in forest soil profiles in the Presidential Estate of Castelporziano (Rome).* The objective of the work was to characterize quantitatively different humus forms in relation to their classification and vegetal coverages in Mediterranean forest sites particularly significant for the Castelporziano Estate (Rome), with the aim to assess effects of natural and anthropic impact on these soils. After C/N determination on diagnostic horizons of n. 40 sites, the extractable carbon in alkaline solution (TEC%), the humic (C_{HA}%) and the fulvic acids carbon (C_{FA}%) were determined on n. 14 of them, taken as representative by W.G. “Vegetation”. For each diagnostic horizon of each site, the degree of humification (DH%), the C_{HA}/C_{FA} ratio and the related indexes of humic (D_{HA}%) and fulvic (D_{FA}%) acids formation were calculated.

Obtained results allowed to compare: i) the organic matter input to soil (typology of litter); ii) the soil attitude to sustain humification processes (C conservation); iii) the loss of soil organic profile for mineralization activity (reduction of C-sink). In relation to the considered sites, we underline the importance to monitor particularly the forest sites with predominant *Quercus cerris* coverage, as “Capocotta - Quarto dei Frati”, “Part. 134 – area 3” and “Strada per Valle Renaro”: actually, even if at different extent, they show a tendency to rapidly degrade soil organic matter, so to determine an impact on soil fertility on medium-long term, and thus on its capability to sustain the forest maintenance.

Key words: soil, forest litter, organic matter, humic acids, fulvic acids.

Sommario – La presente ricerca ha avuto lo scopo di caratterizzare quantitativamente le diverse forme di humus in relazione alla loro classificazione ed alle diverse coperture vegetali in siti forestali mediterranei ritenuti di particolare interesse all'interno della Tenuta di Castelporziano (Roma), con l'intento di rilevare eventuali effetti di impatto naturale ed antropico sul suolo. Oltre alla determinazione del rapporto C/N per i diversi orizzonti diagnostici di n. 40 siti forestali, su n. 14 di essi, ritenuti rappresentativi dal G.d.L. “Vegeta-

¹ Centro di Ricerca per lo Studio delle relazioni tra pianta e suolo - Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura (CRA-RPS), via della Navicella 2/4, 00184 Roma.

zione”, sono stati determinati il C estraibile in alcali (TEC%), il C degli acidi umici (C_{HA} %) ed il C degli acidi fulvici (C_{FA} %). Sono stati quindi calcolati per ciascun orizzonte diagnostico di ciascun sito il grado di umificazione (DH%), il rapporto C_{HA}/C_{FA} ed i relativi indici di formazione degli acidi umici (D_{HA} %) e degli acidi fulvici (D_{FA} %).

I risultati ottenuti hanno permesso di confrontare: i) gli apporti di sostanza organica al suolo (tipologia di lettiera); ii) l'attitudine del suolo ad attivare i processi di umificazione (conservazione del carbonio); iii) la perdita del profilo organico per mineralizzazione (riduzione del *C-sink*). In relazione ai siti investigati, si sottolinea l'importanza di tenere sotto costante monitoraggio quelli con copertura a cerreta (calda ed umida), in particolare i siti di “Capocotta - Quarto dei Frati”, “Particella 134 – area 3” e “Strada per Valle Renaro” che, se pure in maniera differente, mostrano comunque tutti una tendenza a degradare rapidamente la sostanza organica, tale da poter determinare nel tempo un impatto sulla fertilità del suolo e quindi sulla sua capacità di sostenere la produzione vegetale che sussiste su di esso.

Parole chiave: suolo, sostanza organica, lettiera forestale, acidi umici, acidi fulvici.

Introduzione

In relazione a studi pregressi relativi all'identificazione di specie vegetali indicatrici di naturalità, è emerso il ruolo giocato da alcuni parametri, quali il pH ed il rapporto C/N del suolo [4; 15], nonché il contenuto e le caratteristiche della componente umificata della sostanza organica [21]. Nello specifico, il rapporto C/N sembra essere fortemente correlato allo sviluppo delle diverse coperture vegetali, permettendo altresì di identificare eventuali stati di disturbo nei sistemi boschivi presi a riferimento. Inoltre, essendo l'humus la risultante di una sequenza di processi evolutivi che coinvolgono fasi di degradazione, resintesi e trasformazione della sostanza organica derivante dalla lettiera [14], risulta quanto mai importante effettuare una sua classificazione non solo attraverso criteri standard quali i regimi idrico e nutrizionale [5; 6; 19], ma anche con l'ausilio di parametri di valutazione più complessi, quali ad esempio un'analisi morfo-funzionale [20].

È evidente come oggi siano disponibili molteplici metodologie analitiche avanzate, utili a caratterizzare la sostanza umica del suolo, quali la focalizzazione isoeletttrica (IEF), la termoanalisi, la risonanza magnetica nucleare (NMR), la microscopia elettronica a scansione. Tuttavia, anche le più classiche tecniche di analisi chimica quantitativa possono, in un primo *screening*, essere esaurienti al fine di caratterizzare le diverse forme di humus ed evidenziarne o meno la dipendenza dalla tipologia di lettiera da cui questo deriva: è, ad esempio, il caso dello studio delle dinamiche di mineralizzazione dell'azoto organico da parte della microflora tellurica [13], o del frazionamento della componente umica e fulvica del suolo, metodo basato in particolare sulla separazione delle due frazioni organiche sulla base della loro differente acidità e la loro dimensione molecolare media [1]. Mentre infatti gli acidi umici si caratterizzano per pesi molecolari medi maggiori (PM>10.000 Daltons) e acidità generalmente inferiore (pH 4.0-5.5), gli acidi fulvici sono normal-

mente costituiti da molecole di peso nominale ai 10.000 Daltons e con punto isoeletttrico maggiore di 3.0-4.5 [11; 16]. Tali differenti proprietà delle sostanze umiche risultano strettamente connesse con la loro attitudine a resistere ai processi di mineralizzazione nel suolo, che sono peraltro correlabili al relativo rapporto C/N ed al turnover della sostanza organica del suolo. Va da sé che lo studio delle differenti frazioni di sostanza umica nei diversi orizzonti organici del suolo, a partire dalla lettiera, può fornire informazioni importanti non solo in merito alla sua classificazione, ma anche in relazione ai processi di “degradazione della lettiera → acidi fulvici e successiva sintesi → acidi umici”, che sono sempre fortemente influenzati da impatti sia naturali che antropici.

Ad esempio, in merito ai possibili effetti di impatto di origine naturale, si sottolinea come normalmente le cenosi non in equilibrio, quindi in evoluzione, si caratterizzino per una elevata attività di degradazione della sostanza organica e scarsa capacità di resintesi della sostanza umica (sistemi poco conservativi); i sistemi in equilibrio, invece, mostrano una elevata capacità di “stoccare” la sostanza organica attraverso i processi di umificazione, incrementando potenzialmente nel tempo il *C-sink* del suolo, in quanto la sostanza umificata è mineralizzabile molto più lentamente (sistemi conservativi) [10; 17]. Analogamente, anche gli effetti di disturbo di origine antropica possono influire sulle frazioni (*C-pools*) di sostanza organica, determinando frequentemente l’incremento della loro mineralizzazione ad opera della microflora del suolo ed una riduzione dei processi di umificazione [9].

A tale scopo, la presente ricerca è stata condotta su due differenti livelli: in primo luogo è stato determinato il rapporto C/N per tutti gli orizzonti organici di terreno relativamente ai n. 40 siti identificati dal G.d.L. “Vegetazione” all’interno della Tenuta di Castelporziano; in una fase successiva è stata effettuata una prima caratterizzazione quantitativa della sostanza organica, ed in particolare della frazione umificata, per i terreni di n. 14 siti (sui 2-3 orizzonti diagnostici identificati), previamente concordati con il G.d.L. “Vegetazione” e ritenuti di particolare interesse naturalistico all’interno della Tenuta stessa, essendo rappresentativi di differenti coperture vegetali mediterranee, nonché sottoposti a stress di differente origine (antropico, climatico, ecc.). L’obiettivo della ricerca è stato quello di caratterizzare quantitativamente le diverse forme di humus in relazione alla loro classificazione ed alle diverse coperture vegetali sviluppatesi sui siti indagati, con lo scopo di evidenziare eventuali fenomeni di impatto naturale ed antropico sul processo di umificazione.

Materiali e metodi

Area di studio – I campioni di suolo sono stati prelevati da differenti siti all’interno della Riserva Naturale “Tenuta Presidenziale di Castelporziano”, nei pressi di Roma (Italia). L’area, ampia 6.000 ettari, situata circa a 30 m s.l.m., è caratterizzata da un clima mediterraneo. Le precipitazioni sono in media fra i 123,8 mm (Ottobre e Novembre) ed i 12,2 mm (Luglio). La temperatura media annua va dai 4°C

(Gennaio e Febbraio) ai 30°C (Luglio e Agosto) [7]. I suoli sono principalmente sabbiosi e di natura alluvionale, con formazioni di duna sia antica che recente. La relativa geo-referenziazione dei siti viene fornita dal G.d.L. “Vegetazione”.

Campionamento dei terreni – Sono stati selezionati dal G.d.L. “Vegetazione” n. 32 siti di prelievo, rappresentativi di coperture forestali di particolare interesse ecologico all’interno della Tenuta Presidenziale di Casteporziano (Tab. 1). Nell’autunno 2010 sono stati prelevati dal medesimo Gruppo i relativi campioni di suolo da tutti i siti, considerando in particolare gli orizzonti diagnostici organici OL (orizzonte lettiera), OF (orizzonte fulvico), OH (orizzonte umico), identificati in relazione a ciascun suolo, secondo il criterio di classificazione delle forme di humus riportato dal G.d.L. “Vegetazione”. Solo per alcuni siti è stato inoltre preso in considerazione anche l’orizzonte minerale A (od A/B). Sub-campioni rappresentativi di ciascun sito e orizzonte sono stati quindi inviati presso il CRA-RPS per i successivi approfondimenti analitici. Nella Tabella 1 si riportano l’elenco dei siti di prelievo ed i relativi orizzonti diagnostici campionati.

Tab. 1. C organico totale (C_{org} %), N totale (N_{tot} %) e rapporto C/N del suolo per i profili OL, OF, OH ed A dei n. 32 siti considerati nella Tenuta di Castelporziano (n = 3).

Sito	Profilo	C org (%)	N tot (%)	C/N
Spanoletta 2	OL	25,40	0,75	33,9
	OF	16,60	0,54	30,7
	A	4,00	0,58	6,9
Acquedotto	OL	44,10	0,55	80,2
	OF	17,60	0,32	55,0
	OH	10,20	0,31	32,9
	A	4,00	0,16	25,0
Scopone - lecceta	OL	42,20	0,73	57,8
	OF	7,30	0,36	20,3
	A	1,40	0,03	46,7
Part. 134 area 2	OL	50,70	2,02	25,1
	OF	47,70	1,56	30,6
	OH	38,70	2,17	17,8
	A/E			
Part 134 area 1	OL	40,90	1,20	34,1
	OF	46,80	1,35	34,7
	A	5,16	0,22	23,5
Tellinaro 1	OL	20,40	0,83	24,6
	OF	47,40	1,53	31,0
	OH	21,10	0,87	24,3
	A	4,86	0,28	17,4
Tellinaro 2	OL	24,30	5,78	4,2
	OF	37,80	0,91	41,5
	OH	4,10	0,37	11,1
	A	3,24	0,24	13,5
Tellinaro 3	OL	24,00	2,04	11,8
	OF	28,80	0,53	54,3
	OH	24,10	0,44	54,8
	A	3,72	0,40	9,3
Lecceta 1	OL	9,11	1,31	7,0
	OF	9,10	0,69	13,2
	OH	7,60	0,51	14,9
	A	1,12	0,48	2,3
Santola sughereta	OL	48,60	1,01	48,1
	OF	4,74	0,76	6,2
	OH	6,60	0,57	11,6
	A	3,42	0,20	17,1
Figurone	OL	22,70	0,59	38,5
	OF	27,88	1,09	25,6
	A	2,89	0,17	17,0
Strada per Valle Renaro	OL	43,10	0,08	538,8
	OF	18,10	0,90	20,1
	A	3,04	0,28	10,9

Sito	Profilo	C org (%)	N tot (%)	C/N
Ponte Guidone 1 ceduo	OL	6,50	0,91	7,1
	OF	3,80	0,92	4,1
	OH	6,50	0,29	22,4
	A/B	2,96	0,19	15,6
Ponte Guidone 2 fustaia	OL	41,00	1,27	32,3
	OF	46,20	1,12	41,3
	OH	4,30	0,26	16,5
	A	3,11	0,09	34,6
Banditella	OL	48,60	1,52	32,0
	OF	30,60	0,49	62,4
	A	1,56	0,24	6,5
Spagnoletta	OL	41,90	1,51	27,7
	OF	25,50	1,73	14,7
	A/B	2,16	0,25	8,7
Capocotta - Quarto dei Frati	OL	48,90	1,71	28,6
	OF	16,97	0,52	32,6
	OH	4,60	0,38	12,1
	A	2,02	0,16	12,6
Figurella	OL	43,80	1,70	25,8
	OF	37,80	0,96	39,4
	A	6,00	0,22	27,3
Campo di Rota sud	OL	25,30	1,51	16,8
	OF	11,52	0,48	24,0
	OH	10,80	0,41	26,3
	A	2,45	0,14	17,5
Frassineto 4	OL	37,90	1,63	23,3
	OF	23,90	0,87	27,5
	A	9,87	0,47	21,0
Frassineto 1, 2, 3	OL	7,57	1,14	6,6
	A	5,80	0,46	12,6
Grascete - sughereta naturale	OL	39,10	0,64	61,1
	OF	6,20	0,48	12,9
	A	1,46	0,22	6,6

Sito	Profilo	C org (%)	N tot (%)	C/N
Alneto	OL	40,10	2,18	18,4
	OF	42,10	1,82	23,1
	A	7,48	0,55	13,6
Capocotta - rimessone	OL	43,60	0,85	51,3
	OF	23,44	0,75	31,3
	A	5,44	0,09	60,5
Capocotta 1	OL	23,50	1,07	22,0
	OH	2,80	0,51	5,5
	A	3,23	0,22	14,7
Capocotta 2	OL	44,70	0,94	47,6
	OF	16,90	0,51	33,1
	OH	10,00	0,37	27,0
	A	4,64	0,18	25,8
Capocotta - Rimessone sud	OL	54,00	1,06	50,9
	OF	14,66	0,82	17,9
	A	1,62	0,27	6,0
Scopone	OL	15,10	0,90	16,8
	OF	14,10	0,45	31,3
	OH	9,09	0,33	27,5
	A	1,10	0,07	15,7
Part. 134 area 3	OL	44,00	1,47	29,9
	OF	16,54	0,58	28,5
	OH	4,78	0,26	18,4
	A			
Part. 131 area 3	OL	10,90	1,44	7,6
	OF	11,02	0,59	18,7
	OH	12,80	0,51	25,1
	A			
Valle Renaro 1	OL	44,69	0,63	70,9
	OF	32,66	0,86	38,0
	A			
Valle Renaro 3	OL	38,00	0,81	46,9
	OF	13,62	0,77	17,7

Determinazione del rapporto C/N su 32 siti forestali – Per i 32 siti considerati e per ciascun orizzonte diagnostico, è stato determinato il rapporto C/N, mediante analisi del C organico e dell’N totale di seguito descritte. Il contenuto in carbonio organico totale (TOC %) di ciascun campione di terreno è stato ottenuto applicando il metodo di Springer e Klee [12], che consiste nel trattamento del campione con una soluzione ossidante di $K_2Cr_2O_7$ 2N a 160°C per 10 minuti in ambiente acido per H_2SO_4 concentrato e nella successiva retrotitolazione del dicromato in eccesso con una soluzione di $FeSO_4$ 0.2N (TOC %).

Il TOC % è stato utilizzato per il calcolo del rapporto C/N, dopo aver determinato il contenuto in N totale mediante mineralizzazione Kjeldhal in H₂SO₄ 1N e successiva titolazione dell'ammonio mineralizzato con NaOH 0,1 N [8].

Caratterizzazione delle frazioni umiche nei n. 14 siti forestali selezionati – Per n. 14 siti d'indagine, ritenuti rappresentativi delle 7 coperture forestali di riferimento, identificate dal G.d.L. "Vegetazione" come rappresentative della totalità dei gruppi vegetazionali analizzati all'interno della Tenuta [3], è stato determinato per ciascun orizzonte diagnostico il contenuto in carbonio totale, carbonio estraibile in alcali e carbonio degli acidi umici e acidi fulvici.

Per ciascun campione di terreno è quindi stata effettuata l'estrazione del C organico in ambiente alcalino [1; 2], mediante trattamento di 4,0 g di terreno seccato all'aria e macinato in 100 mL di soluzione di NaOH/Na₄P₂O₇ 0,1 M dibattendo in bagno termostatico a 65°C per 48 ore. La sospensione ottenuta è stata centrifugata a 2.700 giri min⁻¹ per 20 minuti e filtrata su filtro a pieghe, il surnatante è stato analizzato per la quantificazione del C organico estraibile (TEC %) mediante mineralizzazione di 2-5 mL di estratto a caldo in ambiente acido [12].

Su una aliquota di 25 mL di surnatante (sostanza organica estratta in ambiente alcalino), in una provetta in teflon da 50 mL, è stato aggiunto acido solforico al 50% goccia a goccia fino a pH < 2,0, favorendo la precipitazione degli acidi umici. Dopo centrifugazione della sospensione per 20 minuti a 2.700 giri min⁻¹ il surnatante limpido, contenente la frazione fulvica in soluzione (FA), è stato separato dalla frazione umica precipitata (HA). Gli acidi umici sono stati quindi portati a volume di 50 mL in matraccio tarato, solubilizzandoli in 50 mL di soluzione NaOH 0,5 M. La soluzione contenente gli FA è stata invece purificata su colonna cromatografica di polivinilpirrolidone (PVP), mediante lavaggi successivi con H₂SO₄ 0,005 M, al fine di eliminare le sostanze interferenti umo-simili. Il recupero della frazione fulvica è stato effettuato per solubilizzazione degli FA con NaOH 0,5 M, portando poi a volume di 25 mL in matraccio tarato (FA). Il contenuto in carbonio organico degli acidi umici C_{HA} % e degli acidi fulvici C_{FA} % è stato determinato su 2-10 mL di soluzione mediante mineralizzazione acida a caldo [12].

Calcolo dei parametri di umificazione – Sono stati calcolati per ciascun sito ed orizzonte i valori del rapporto C_{HA}/C_{FA} ed il grado di umificazione DH% [18]. Sono stati inoltre calcolati i relativi indici di formazione degli acidi umici (D_{HA} %) e degli acidi fulvici (D_{FA} %):

$$DH \% = \frac{C_{HA+FA} \times 100}{TEC} \quad D_{HA} \% = \frac{C_{HA} \times 100}{TEC} \quad D_{FA} \% = \frac{C_{FA} \times 100}{TEC}$$

ove: TOC % = carbonio organico totale

TEC % = carbonio estraibile totale

C_{HA+FA} % = carbonio degli acidi umici e fulvici

C_{HA} % = carbonio degli acidi umici

C_{FA} % = carbonio degli acidi fulvici

Risultati e discussione

Determinazione del rapporto C/N sui 32 siti forestali - I valori del rapporto C/N degli orizzonti di tutti i siti considerati sono riportati in Tab. 1.

L'andamento ottenuto fornisce informazioni sulla trasformazione avvenuta da parte della sostanza organica, passando dalla lettiera all'orizzonte fulvico all'orizzonte umico: generalmente, durante il processo di degradazione del materiale vegetale in decomposizione, il rapporto C/N tende a decrescere, in quanto la resintesi di sostanza organica umificata, prima come acidi fulvici (FA) e poi come acidi umici (HA), comporta la formazione di molecole ad alto peso molecolare, con struttura chimica complessa, in parte alifatica ed in parte aromatica, associata a composti organici dell'azoto che derivano dalla degradazione delle proteine. L'humus si può quindi caratterizzare per una maggiore od inferiore presenza di cosiddetti "polimeri azotati bruni", che conferiscono al rapporto C/N una valenza di indicatore di qualità dell'humus. Tanto più il rapporto C/N è basso, e quindi prossimo a 10, tanto più le sostanze umiche sono evolute, complesse, e comprensive di porzioni di molecole azotate legate alla componente alifatica mediante legami di tipo "basi di Schiff" ($=C=N-$). Al contrario, allorché il rapporto C/N è più elevato (>15), le sostanze umiche sono ancora principalmente a struttura carboniosa, a carattere più acido, come ad esempio nel caso degli acidi fulvici.

Nella maggioranza dei casi, si rileva un valore del rapporto C/N decrescente procedendo lungo il profilo organico a partire dalla lettiera (gli orizzonti più profondi sono più umificati). In taluni casi però si riscontra una tendenza opposta, come quella registrata nei siti "Tellinero 2", "Ponte Guidone 1 - Ceduo" o "Particella 131, area 3". In quest'ultimo, ad esempio, a fronte di un rapporto C/N molto basso nell'orizzonte OL (7,6), si riscontrano valori incrementati negli orizzonti OH ed OF (18,7 e 25,1, rispettivamente). È evidente perciò che in tale sito, a copertura arborea pari al 90%, a prevalenza di frainetto, cerro e *Phillyrea*, classificato anch'esso come "cerreta calda", le modalità di formazione dell'humus (classificato come eumesoamphi) sono probabilmente differenti: qui le strutture organiche umificate formatesi sono a più basso contenuto percentuale di azoto rispetto a quello della lettiera e quindi prevalentemente caratterizzate da catene alifatiche ed aromatiche derivanti da porzioni di lignina solo parzialmente decomposta. Tale aspetto potrebbe dipendere nuovamente dalle associazioni microbiche presenti nel suolo, ma anche dal materiale prevalente della lettiera, evidentemente molto influenzato dal tipo di copertura vegetale.

Caratterizzazione delle frazioni umiche nei n. 14 siti forestali selezionati - Il rapporto C/N, sebbene indicativo dell'evoluzione sostenuta dalla sostanza organica del

suolo, non risulta comunque esauriente ai fini della caratterizzazione quantitativa delle forme di humus forestale. La possibilità di seguire l'evoluzione dell'umificazione tramite la quantificazione del carbonio degli acidi fulvici ed umici lungo il profilo organico può permettere di seguire in dettaglio l'andamento dei processi di formazione e come questi vengano influenzati da possibili fattori di impatto. I valori di carbonio degli acidi fulvici (C_{FA}), carbonio degli acidi umici (C_{HA}), nonché le relative deviazioni standard in merito ai 14 siti selezionati come rappresentativi di differenti coperture vegetali sono riportati in Tab. 2.

In primo luogo occorre sottolineare che non tutti i profili organici presentano i medesimi orizzonti: in taluni siti, l'orizzonte "OH", più propriamente umico e quindi maggiormente evoluto, non è riscontrabile, a fronte di un orizzonte fulvico "OF" più profondo, che si evolve direttamente nell'orizzonte A od A/B, minerale. È quindi evidente come i differenti ecotipi forestali, unitamente alla attività microbica del suolo, possano aver influito in modo determinante sulla trasformazione della sostanza organica, attraverso differenze di input al suolo (differenti lettiera) e differenti modalità/velocità di degradazione. Va poi aggiunto che nell'orizzonte "OL" rappresentato dalla lettiera forestale, si riscontra un'interferenza nei rilievi analitici effettuati di sostanze definite umo-simili, che possono essere erroneamente considerate come già umificate, in quanto estratte nelle medesime condizioni estrattive utilizzate nel metodo (affinità di punto isoelettrico, pI): è quindi importante valutare con attenzione i dati ottenuti, tenendo conto che le sostanze umo-simili (a base di complessi della lignina) rappresentano le molecole originarie che portano alla successiva sintesi delle sostanze umiche vere e proprie.

Valori di TEC, C_{HA} e C_{FA} percentuali elevati in OL sono da interpretare con la presenza nella lettiera di componenti ligniniche e lignocellulosiche con valori di acidità prossimi a quelli degli acidi umici o fulvici, rispettivamente. In generale, in tutti i siti i risultati indicano una buona dotazione di sostanze umosimili nella lettiera, con particolare riguardo ai siti Particella 134 – area 2 (lauro-carpinetto), Spagnoletta e Grascete, quest'ultimo con copertura prevalente a *Quercus suber*, Alneto e Strada per Valle Renaro, con parziale copertura a cerro (cerreta calda). Il dato di C/N molto elevato riscontrato in quest'ultimo sito conforta l'ipotesi della presenza di una dotazione elevata di materiale lignocellulosico della lettiera, molto scarso in azoto e quindi degradabile fino a strutture a più basso peso molecolare ed a maggiore acidità (gli acidi fulvici), che tuttavia vengono solo parzialmente sintetizzate ad acidi umici, tanto da non generare un vero e proprio orizzonte umico (OH non presente). Il fatto che nell'orizzonte OF di tali siti si riscontrino valori di C_{HA} piuttosto elevati (a volte superiori al 10%) conferma che essi sperimentano una fase di evoluzione che ancora non ha permesso la formazione di un orizzonte umico ben definito (Spagnoletta: hemimoder; Particella 134 – area 2: dysmoder/eumoder; Grascete: pachiamphi; Strada per Valle Renaro: dysmull-hemimoder).

Nel caso invece di siti come Particella 131 – area 3 (eumesoamphi) e Particella 134 – area 3 (dysmull), classificati come cerreta calda ed umida, rispettivamente, il

Tab. 2. Contenuto in carbonio organico estraibile in alcali (TEC%), carbonio degli acidi fulvici (C_{FA} %), degli acidi umici (C_{HA} %) per gli orizzonti individuati sui 14 siti forestali rappresentativi delle diverse coperture vegetali (valor medio e deviazione standard, $n = 3$, $p = 0,005$).

Sito	Tipo forestale (forma/eumoder) ^a	Profilo	TEC%	σ	C_{HA} %	σ	C_{FA} %	σ	C_{HA}/C_{FA}
Part. 134 - area 2	LAURO-CARPINETO (<i>dysmoder/eumoder</i>)	OL	28,26	1,66	15,98	1,11	7,70	0,04	2,1
		OF	24,19	1,33	13,57	0,19	4,89	0,18	2,8
		OH	23,63	0,27	13,73	0,07	4,33	0,04	3,2
		A/E							
Valle Renaro 3	LAURO-CARPINETO (<i>eumull</i>)	OL	15,59	0,02	8,65	0,17	1,19	0,01	4,5
		OF	10,06	0,05	5,66	0,15	1,81	0,02	3,1
		A							
Lecceta 1	LECCETA (<i>eumesoamphi</i>)	OL	21,00	0,85	12,01	1,24	3,45	0,06	3,5
		OF	10,96	1,54	4,97	0,10	2,99	0,01	1,7
		OH	6,26	0,05	2,66	0,08	1,88	0,04	1,4
		A	3,41	0,56	1,03	0,03	0,95	0,06	1,1
Ponte Guidone 1 - ceduo	LECCETA (<i>bemimoder</i>)	OL	18,12	0,10	13,86	0,11	1,82	0,01	7,6
		OF	12,35	0,01	9,62	0,28	1,83	0,11	5,3
		OH	6,58	0,01	3,36	0,02	1,42	0,03	2,4
		A/B	3,55	0,03	1,74	0,01	0,94	0,02	1,8
Capocotta - Quarto dei Frati	CERRETA (<i>lepto-eumacroamphi</i>)	OL	21,00	0,02	16,06	0,07	1,93	0,11	8,3
		OF	20,19	0,04	15,86	1,04	2,85	0,00	5,6
		OH	4,24	0,05	1,93	0,07	2,80	0,05	0,7
		A	1,15	0,00	0,62	0,00	0,34	0,02	1,8
Capocotta 2	CERRETA (<i>oligomull</i>)	OL	24,47	0,10	15,79	0,01	3,56	0,03	4,4
		OF	16,60	0,11	10,25	0,04	3,80	0,06	2,7
		OH	8,48	0,07	4,00	0,02	1,86	0,02	2,2
		A	2,47	0,00	0,98	0,02	0,68	0,01	1,4
Part. 134 - area 3	CERRETA UMIDA (<i>dysmull</i>)	OL	19,43	0,32	11,56	0,12	2,35	0,08	4,9
		OF	11,50	0,11	7,57	0,02	1,92	0,02	3,9
		OH	7,18	0,09	3,72	0,05	1,04	0,09	3,6
		A							
Part. 131 - area 3	CERRETA CALDA (<i>eumesoamphi</i>)	OL	12,10	0,07	8,22	0,10	1,59	0,03	5,2
		OF	10,37	0,02	5,20	0,20	1,49	0,03	3,5
		OH	8,82	0,02	4,77	0,05	1,49	0,00	3,2
		A							
Strada per Valle Renaro	CERRETA CALDA (<i>dysmull-bemimoder</i>)	OL	23,63	0,15	15,10	0,05	4,05	0,00	3,7
		OF	17,73	0,55	8,86	0,55	3,35	0,06	2,6
		A	2,81	0,04	1,01	0,04	0,67	0,08	1,5
Valle Renaro 1	BOSCO MED. MISTO (<i>oligomull</i>)	OL	12,13	0,00	6,14	0,05	1,97	0,04	3,1
		OF	12,27	0,11	6,93	0,15	1,68	0,02	4,1
		A							
Spagnoletta	BOSCO MED. MISTO (<i>bemimoder</i>)	OL	26,65	0,00	19,35	0,35	2,89	0,02	6,7
		OF	15,01	0,00	11,62	0,03	2,64	0,04	4,4
		A/B	1,88	0,06	0,84	0,03	0,42	0,00	2,0

Sito	Tipo forestale (forma/eumoder) ^a	Profilo	TEC%	σ	C _{HA} %	σ	C _{FA} %	σ	C _{HA} /C _{FA}
Frassineto 4	FRASSINETO (<i>meso-eumull</i>)	OL	28,12	0,35	18,44	0,35	3,80	0,00	4,9
		OF	23,05	0,26	15,49	0,90	2,22	0,01	7,0
		A	5,87	0,06	2,93	0,10	1,19	0,06	2,5
Alneto	FRASSINETO (<i>oligomull</i>)	OL	28,04	0,31	21,37	0,26	2,44	0,02	8,8
		OF	19,04	0,20	11,15	0,10	1,63	0,09	6,8
		A	7,20	0,03	3,68	0,11	1,31	0,02	2,8
Grascete - sughereta naturale	SUGHERETA (<i>pachamphi</i>)	OL	24,85	0,01	17,75	0,13	3,69	0,03	4,8
		OF	19,97	0,23	15,03	0,14	4,52	0,02	3,3
		A	2,21	0,05	0,96	0,00	0,5	0,03	1,9

^a Tipo forestale e classificazione delle forme di humus gentilmente forniti dal G.d.L. "Vegetazione".

processo di evoluzione avviene più gradualmente, con la formazione di un orizzonte fulvico OF e di un più profondo orizzonte umico OH, quest'ultimo con una discreta dotazione di acidi umici ($C_{HA} > 3,5$).

È da notare come, nel caso del sito Particella 134 – area 2, i rispettivi valori di TEC%, C_{HA} % ed C_{FA} negli orizzonti OF ed OH sono praticamente sovrapponibili, e quindi indistinguibili chimicamente: ciò potrebbe far presupporre la necessità di assimilare i due orizzonti OF ed OH ad un unico orizzonte, con un profilo organico OL/OF/A.

Inoltre, si segnala come i valori di C_{HA} % riscontrati negli orizzonti OF dei siti Grascete – sughereta (C_{HA} ~15%), nel Frassineto 4 (C_{HA} % ~15,5), Alneto (C_{HA} % ~11,1) e Spagnoletta (C_{HA} % ~11,6), che non posseggono un definito orizzonte umico OH, siano molto elevati: in tali siti, la netta prevalenza nell'orizzonte OF di acidi umici C_{HA} rispetto agli acidi fulvici C_{FA} potrebbe indurre ad una riconsiderazione dell'orizzonte OF a favore di una distinzione tra OF ed OH, con una possibile nuova classificazione dell'humus, anche sulla base del parametro C_{HA}/C_{FA} .

Quanto finora discusso permette anche di ricavare informazioni sullo stato ecofisiologico di un sito forestale, in relazione alla sua capacità di conservare la sostanza organica: poiché l'umificazione permette di limitare la perdita di C-sink del suolo, un suolo maggiormente dotato di sostanze umiche è un suolo a minor rischio di impatto ambientale, mentre un suolo con elevata attività mineralizzante e quindi meno umificato è un suolo da tenere sotto osservazione. È a tale scopo che sono stati determinati per i 14 siti di interesse anche i relativi parametri di umificazione.

Parametri di umificazione – I parametri di umificazione degli orizzonti OL, OF, OH (se presente) sono riportati nella Tab. 3.

Poiché l'evoluzione dell'humus si realizza tra l'OF e l'OH (laddove presente), ci si sofferma in particolare sui risultati ottenuti in tali orizzonti, evidenziando come il parametro DH risulta più basso negli orizzonti OF dei siti Farnete 131/3, Alneto,

Tab. 3. Parametri di umificazione dei terreni dei 14 siti selezionati sugli orizzonti OL, OF ed OH.

Sito (orizzonte OL)	Forma di humus	DH%	DHA%	DFA%	C _{HA} /C _{FA}
Valle Renaro 1 BOSCO MED MISTO	oligomull	66,84	50,64	16,21	3,12
Valle Renaro 3 LAURO-CARPINETO	eumull	67,71	55,46	12,26	4,52
Farnete 134/3 CERRETA UMIDA	dysmull	71,60	59,52	12,07	4,93
Lecceta 1 LECCETA	eumesoamphi	73,58	57,17	16,41	3,48
Frassineto 4 FRASSINETO	meso-eumull	79,07	65,57	13,50	4,86
Capocotta 2 CERRETA	oligomull	79,08	64,52	14,56	4,43
Strada per Valle Renaro CERRETA CALDA	dysmull-hemimoder	81,02	63,90	17,12	3,73
Farnete 131/3 CERRETA CALDA	eumesoamphi	81,07	67,92	13,15	5,16
Spagnoletta BOSCO MED MISTO	hemimoder	83,47	72,63	10,84	6,70
Farnete 134/2 LAURO-CARPINETO	dysmoder/eumoder	83,80	56,57	27,24	2,08
Alneto FRASSINETO	oligomull	84,94	76,23	8,71	8,75
Capocotta quarto dei frati CERRETA	lepto-eumacroamphi	85,67	76,47	9,20	8,32
Sughereta naturale grascete SUGHERETA	pachiamphi	86,26	71,43	14,84	4,81
Ponte guidone 1 LECCETA	hemimoder	86,55	76,50	10,06	7,61
Sito (orizzonte OL)	Forma di humus	DH%	DHA%	DFA%	C _{HA} /C _{FA}
Farnete 131/3 CERRETA CALDA	eumesoamphi	64,54	50,15	14,39	3,49
Alneto FRASSINETO	oligomull	67,12	58,56	8,56	6,84
Strada per Valle Renaro CERRETA CALDA	dysmull-hemimoder	68,84	49,94	18,90	2,64
Valle Renaro 1 BOSCO MED MISTO	oligomull	70,18	56,49	13,69	4,13
Lecceta 1 LECCETA	eumesoamphi	72,61	45,36	27,25	1,66
Sito (orizzonte OL)	Forma di humus	DH%	DHA%	DFA%	C _{HA} /C _{FA}
Valle Renaro 3 LAURO-CARPINETO	eumull	74,20	56,22	17,98	3,13
Farnete 134/2 LAURO-CARPINETO	dysmoder/eumoder	76,31	56,09	20,23	2,77
Frassineto 4 FRASSINETO	meso-eumull	76,86	67,21	9,65	6,97
Farnete 134/3 CERRETA UMIDA	dysmull	82,51	65,82	16,69	3,94
Capocotta 2 CERRETA	oligomull	84,60	61,72	22,87	2,70
Capocotta quarto dei frati CERRETA	lepto-eumacroamphi	92,67	78,58	14,10	5,57
Ponte guidone 1 LECCETA	hemimoder	92,77	77,93	14,84	5,25

Spagnoletta BOSCO MED MISTO	hemimoder	94,95	77,38	17,57	4,40
Sughereta naturale gresceto SUGHERETA	pachiamphi	97,90	75,27	22,63	3,33
Sito (orizzonte OL)	Forma di humus	DH%	DHA%	DFA%	C_{HA}/C_{FA}
Lecceta 1 LECCETA	dysmull	72,61	42,55	30,06	1,42
Capocotta quarto dei frati CERRETA	hemimoder	72,07	45,60	26,47	1,72
Capocotta 2 CERRETA	lepto-eumacroamphi	69,06	47,17	21,88	2,16
Ponte guidone 1 LECCETA	eumesoamphi	72,62	51,01	21,61	2,36
Farnete 134/2 LAURO-CARPINETO	dysmoder/eumoder	76,41	58,10	18,31	3,17
Farnete 131/3 CERRETA CALDA	oligomull	70,99	54,10	16,89	3,20
Farnete 134/3 CERRETA UMIDA	eumesoamphi	66,33	51,85	14,48	3,58

Strada per Valle Renaro (attestandosi intorno al 64-69%, Fig. 1), a fronte di valori molto elevati nel medesimo orizzonte OF nei siti Spagnoletta e Grascete con valori prossimi al 95-98% (Fig. 2). Quando il valore DH% è prossimo al 100%, la sostanza organica estraibile viene ad essere quantitativamente sovrapponibile agli acidi umici e fulvici. Ciò potrebbe indicare come, nei siti a bosco misto di Spagnoletta e Gramscete, la degradazione della lettiera genera composti organici che possono trasformarsi efficacemente in humus.

Contrariamente ai DH dell'orizzonte OF, molto differenziati tra loro, nell'orizzonte OH i valori sono in realtà molto più vicini tra loro, andando da un minimo di 66,3% in Farnete 134/3 a 76,4% in Farnete 134/2, siti che si distinguono anche per classificazione delle forme di humus (Fig. 2).

L'indicazione ottenuta sembra suggerire che nel caso, ad esempio, della cerreta umida Particella 134/3, con humus classificato come dysmull, e quindi caratterizzato da un elevato livello di degradazione del materiale organico, vi sia una attività mineralizzante piuttosto sostenuta, a fronte di una capacità umificante che evidentemente non riesce a contrastare la perdita di carbonio del suolo, come chiaramente evidenziato in Fig. 3.

Tra i 4 siti considerati nello specifico, si osserva come vi sia una diversa evoluzione fra di loro: in Particella 134/3, a latifoglie (cerreta umida) ed in Strada per Valle Renaro (cerreta calda), le condizioni ambientali determinano una perdita di profilo organico, e quindi un depauperamento delle riserve di carbonio (soprattutto se estrapolate sul lungo periodo); siti come Farnete 134/2 (a lauro-carpineto) e Spagnoletta (a bosco misto) sembrano invece avere una ridotta attività mineralizzante ed un migliorato sistema di conservazione del *pool* di carbonio umificato e quindi più resistente alla degradazione microbica (confermato anche dagli elevati valori di DH negli orizzonti più profondi, Fig. 1 e 2).

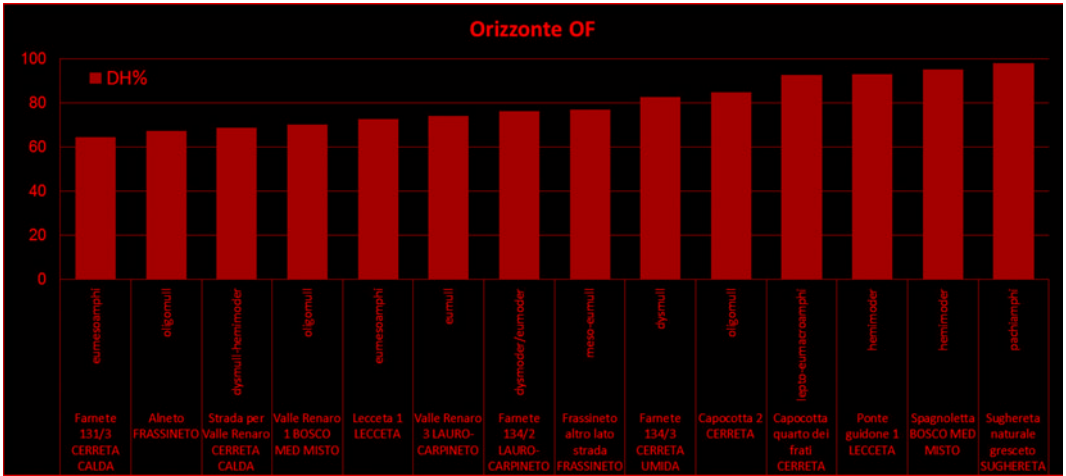


Fig. 1. Istogramma dei valori di DH % dell'orizzonte OF per i n. 14 siti di indagine.

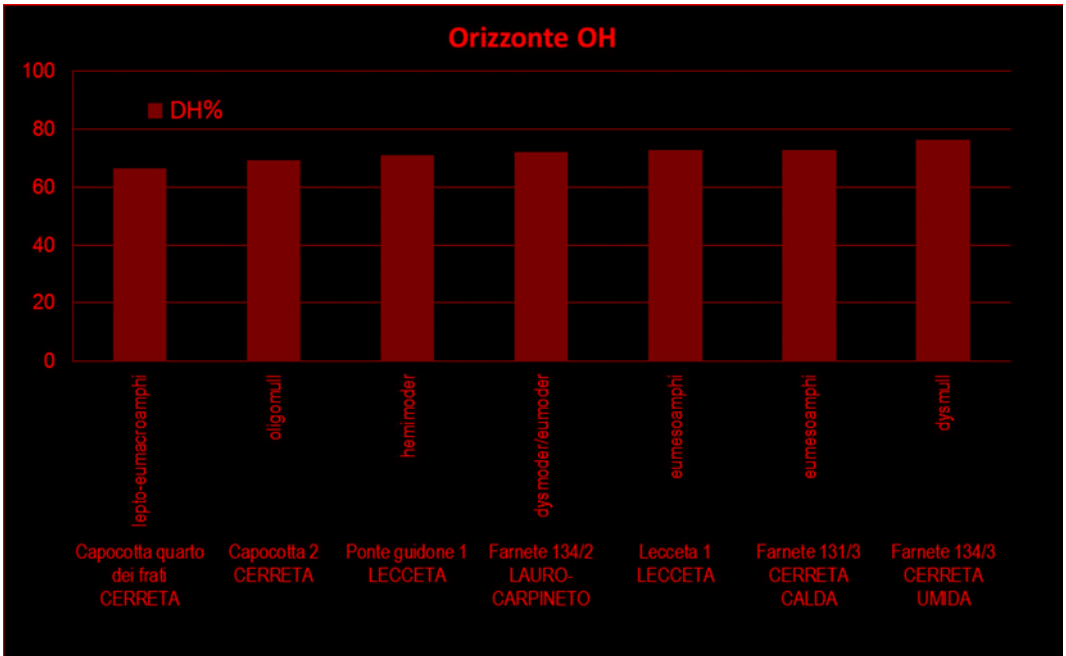


Fig. 2. Istogramma dei valori di DH % dell'orizzonte OH per i 14 siti di indagine.

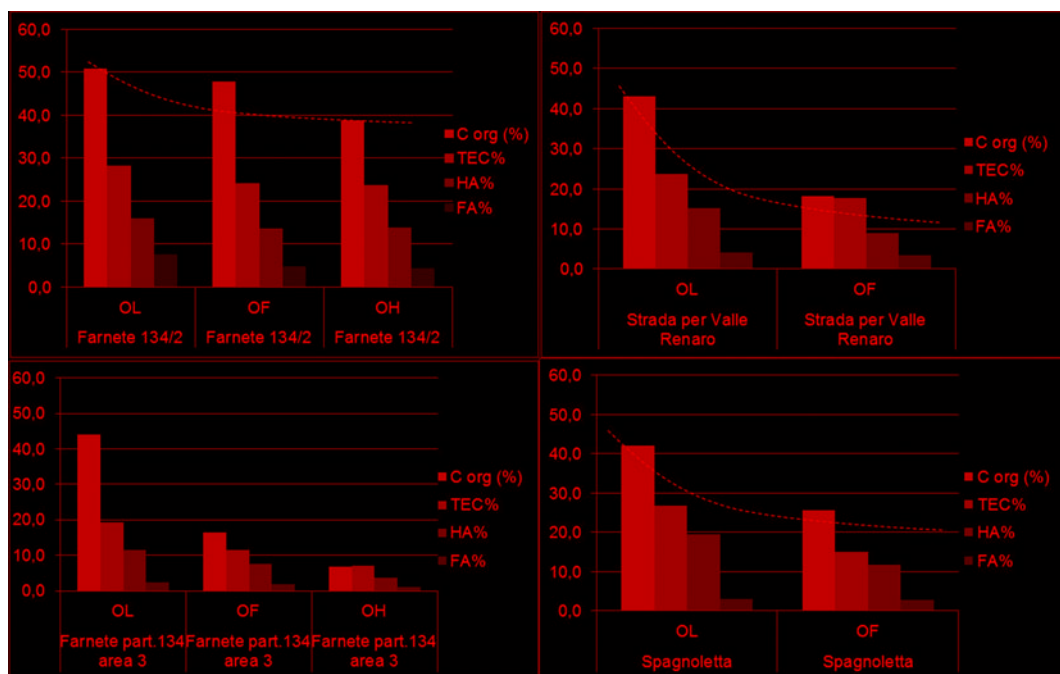


Fig. 3. Andamento del contenuto in Carbonio totale (C_{org} %) e delle frazioni estraibile (TEC%), fulvica (FA%) ed umica (HA%) in alcuni siti di rilievo ambientale.

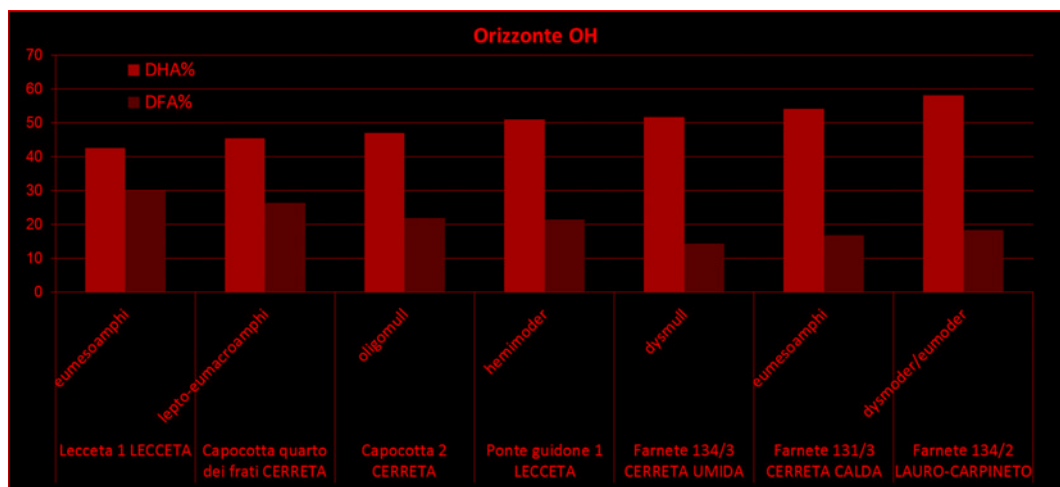


Fig. 4. Valori di D_{HA} % e D_{FA} % dell'orizzonte OH per i 7 siti di appartenenza.

Gli indici di formazione degli acidi umici ($D_{HA}\%$) e degli acidi fulvici ($D_{FA}\%$) hanno dato risultati che sostanzialmente confermano quanto già commentato (Fig. 4), indicando come generalmente, l'incremento del valore del $D_{HA}\%$ corrisponda ad un decremento del valore di $D_{FA}\%$ e viceversa.

Si sottolinea ancora una volta l'importanza di quanto emerso in merito al parametro $DH\%$ dell'orizzonte umico OH, che appare correlabile alle diverse forme di humus: le forme dysmull e oligomull, caratterizzate da materiale organico maggiormente degradato, presentano valori tendenzialmente inferiori di $DH\%$ rispetto alle forme di humus di tipo eumesoamphi, hemimoder e dysmoder, caratterizzate dalla presenza di lettiera indecomposta o solo parzialmente decomposta:

$$DH\% \text{ (orizzonte OH)} : \text{mull} < \text{amphi} < \text{moder}$$

In merito invece al rapporto tra il carbonio degli acidi umici ed acidi fulvici (C_{HA}/C_{FA}), i risultati sono rappresentati in Fig. 5.

Tale rapporto risulta maggiore per l'orizzonte OH in Farnete 134/3 (dysmull) ed inferiore in Lecceta 1 e Capocotta Quarto dei Frati (entrambi amphimull): è interessante il fatto che proprio in Farnete 134/3, sito a rischio di depauperamento di carbonio per forte attività mineralizzante, tuttavia nell'orizzonte più profondo si realizzi un lento processo di evoluzione che porta alla formazione di un orizzonte

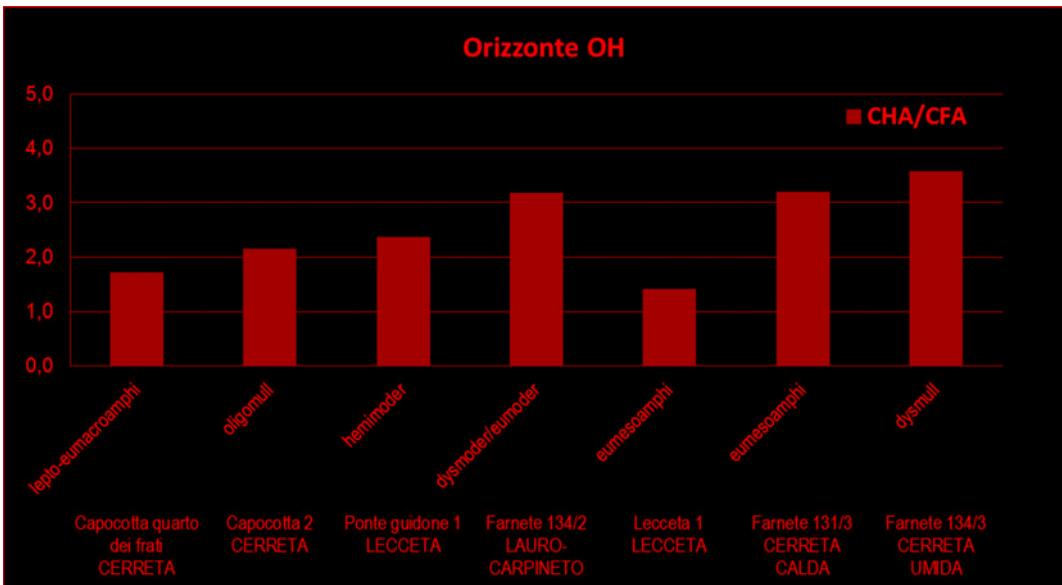


Fig. 5. Rapporto tra i contenuti percentuali del carbonio degli acidi umici e fulvici nell'orizzonte OH dei n. 7 siti che presentano l'orizzonte umico OH.

unico OH, quest'ultimo comunque con una buona dotazione di acidi umici ($C_{HA} > 3,5\%$). Anche in tal caso, non è stata riscontrata una correlazione stretta fra tale rapporto e la classificazione della forma di humus.

Valutazione dello stato di impatto sulla fertilità dei suoli forestali – Ai fini di una corretta valutazione dell'eventuale impatto naturale od antropico sui suoli forestali sotto osservazione, sono stati considerati diversi aspetti, ossia l'apporto di sostanza organica attraverso la lettiera, l'andamento del profilo organico del suolo

Tab. 4. Valutazione dell'impatto naturale/antropico sul suolo nei n. 14 siti forestali all'interno della Tenuta di Castelporziano.

Sito	Tipo forestale (forma di humus)	Apporto sostanza organica	Processo di umificazione	Perdita di profilo organico	Livello di impatto
Part. 134 - area 2	LAURO-CARPINETO (<i>dysmoder/eumoder</i>)	Elevato	Ottimo	Bassa	Basso
Valle Renaro 3	LAURO-CARPINETO (<i>eumull</i>)	Buono	Medio	Discreta	Medio
Lecceta 1	LECCETA (<i>eumesoamph</i>)	Basso	Medio	Bassa	Basso
Ponte Guidone 1 - ceduo	LECCETA (<i>benimoder</i>)	Basso	Ottimo	Medio-bassa	Medio
Capocotta - Quarto Fratì	CERRETA (<i>lepto-eumacroamphi</i>)	Elevato	Ottimo	Elevata	Medio- alto
Capocotta 2	CERRETA (<i>oligomull</i>)	Elevato	Buono-ottimo	Media	Basso
Part. 134 - area 3	CERRETA UMIDA	Medio-Basso	Medio	Elevata	Elevato
Part. 131 - area 3	CERRETA CALDA (<i>eumesoamphi</i>)	Basso	Medio-basso	Bassa	Medio
Strada per Valle Renaro	CERRETA CALDA (<i>dysmull-bemimoder</i>)	Elevato	Basso	Elevata	Elevato
Valle Renaro	BOSCO MED. MISTO (<i>oligomull</i>)	Elevato	Medio-basso	Media	Medio
Spagnoletta	BOSCO MED. MISTO (<i>benimoder</i>)	Elevato	Elevato	Elevata	Medio- alto
Frassineto 4	FRASSINETO (<i>meso-eumull</i>)	Medio	Medio	Scarsa	Basso
Alneto	FRASSINETO (<i>oligomull</i>)	Elevato	Bassa	Bassa	Medio
Grascete - sughereta naturale	SUGHERETA (<i>pachamphi</i>)	Medio-alto	Elevato	Bassa	Basso

(così come riportato in Fig. 3) ed i processi di umificazione/mineralizzazione, valutabili attraverso gli indici di umificazione selezionati. Nella Tab. 4, per ciascun sito viene riportata, in sintesi, la valutazione finale corrispondente in relazione allo studio effettuato nel presente lavoro.

Conclusioni

I risultati ottenuti sul grado di umificazione nei rispettivi OF ed OH mostrano come il DH% sia un parametro sensibile a porre in evidenza i processi evolutivi del suolo, quindi maggiormente sensibile per la valutazione dell'orizzonte OF rispetto all'orizzonte OH. Anche il rapporto C_{HA}/C_{FA} risulta essere un indicatore significativo per la valutazione della trasformazione della sostanza organica negli orizzonti umici del suolo.

In merito allo stato ecofisiologico dei siti investigati in relazione alla qualità del suolo, si sottolinea l'importanza di tenere sotto costante monitoraggio in particolare i siti a cerreta (calda ed umida) di Capocotta – Quarto dei Frati, Particella 134 – area 3 e Strada per Valle Renaro che, se pure in maniera differente, mostrano comunque tutti una tendenza a degradare rapidamente la sostanza organica, tale da poter determinare nel tempo un impatto sulla fertilità del suolo e quindi sulla sua capacità di sostenere la produzione vegetale che sussiste su di esso.

Ulteriori studi sono in corso per approfondimenti qualitativi sull'humus, con lo scopo di studiarne le diverse tipologie in funzione delle diverse coperture vegetali. Studi di correlazione permetteranno altresì di verificare la similarità degli effetti rispetto alle coperture vegetali ed alle diverse forme di humus. Si sottolinea comunque l'esigenza di poter approfondire gli aspetti legati alla perdita di *C-sink* dei suoli forestali all'interno della Tenuta, mediante studi dinamici atti alla definizione dei modelli cinetici di mineralizzazione della sostanza organica del suolo, per meglio comprendere gli effetti dell'impatto naturale od antropico a medio-lungo termine su sistemi forestali estremamente rappresentativi degli ecosistemi boschivi mediterranei.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica, la Direzione della Tenuta di Castelporziano, la Commissione Tecnico-Scientifica di Castelporziano ed il particolare il Prof. Ervedo Giordano e l'Osservatorio centro multidisciplinare per gli Ecosistemi costieri mediterranei per aver consentito lo svolgimento di questi studi e la pubblicazione dei dati ottenuti.

Il lavoro descritto si inserisce nell'ambito della collaborazione tra il G.d.L. "Vegetazione" del Dipartimento di Biologia Vegetale dell'Università degli Studi "La Sapienza" di Roma ed il Centro di ricerca per lo Studio delle Relazioni tra Pianta e Suolo del Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura

(G.d.L. “Suolo”). Si ringraziano in particolare la Prof.ssa Anna Testi e la Dr.ssa Cristina De Nicola per il supporto e la collaborazione fornita (campionamento, classificazione della vegetazione e delle forme di humus dei siti considerati nel presente lavoro).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ciavatta C., M. Govi, 1993. Use of insoluble polyvinylpyrrolidone and isoelectric focusing in the study of humic substances in soils and organic wastes. *Journal of Chromatography*, 643, 261-270.
- [2] Ciavatta C., M. Govi, L. Vittori Antisari, P. Sequi, 1990. Characterization of humified compounds by extraction and fractionation on solid polyvinylpyrrolidone chromatography. *Journal of Chromatography*, 509, 141-146.
- [3] Crosti R., C. De Nicola, G. Fanelli, A. Testi, 2010. Ecological classification of beech woodlands in the Central Apennine through frequency distribution of Ellenberg indicators. *Annals of Botany*, 1-8.
- [4] De Nicola C., G. Fanelli, G. Potena, L. Sammarone, M. Posillico, A. Testi, 2007. Modello di distribuzione delle specie del sottobosco delle faggete dell'Appennino centrale in relazione ai parametri edafici. *Forest@*, 4 (4), 439-449.
- [5] Ellenberg H., 1988. *Vegetation Ecology of Central Europe*, 4th Edition. Cambridge University Press, Cambridge (United Kingdom).
- [6] Ellenberg H., H.E. Weber, R. Dull, V. Wirth, W. Werner, D. Paulissen, 1992. Zeigerwerte von pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica*, Vol. 18, 2nd Edition. Goltze, Göttingen (Germany).
- [7] Francaviglia R., L. Gataleta, M. Marchionni, A. Trinchera, R. Aromolo, A. Benedetti, L. Nisini, L. Morselli, B. Brusoni, P. Olivieri, 2006. Soil quality and vulnerability in a Mediterranean natural ecosystem of Central Italy. In: *Il Sistema ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo.*, Accademia Nazionale delle Scienze, detta dei Quaranta – Scritti e documenti – II Serie – XXXVII, Roma (Italia), 225-244.
- [8] Metodi Ufficiali di Analisi Chimica del Suolo, 1999. Supplemento ordinario alla G.U. n. 248 del 21-10-1999. Metodi XIX.2 / XIX.3.
- [9] Pinzari F., A. Trinchera, A. Benedetti, P. Sequi, 1998. Defining soil quality in Mediterranean forest systems: Note II: microbial biomass activity. *Fresenius Environmental Bulletin*, 7, 447-457.
- [10] Pinzari F., A. Trinchera, A. Benedetti, P. Sequi, (1999). Use of biochemical indexes in the mediterranean environment: comparison among soils under different forest vegetation. *Journal of Microbiological Methods*, 36, 21-28.
- [11] Shinozuka T., M. Shibata, T. Yamaguchi, 2004. Molecular weight characterization of humic substances by MALDI-TOF-MS. *Journal of Mass Spectrometry*, 52(1), 29-32.
- [12] Springer U., J. Klee, 1954. Prüfung der Leistungsfähigkeit von einigen wichtigeren Verfahren zur Bestimmung des Kohlenstoffs mittels Chromschwefelsäure sowie Vorschlag einer neuen Schnellmethode. *Z. Pflanzenernähr. Dang. Bodenk.*, 64, 1.
- [13] Stanford G., S.J. Smith, 1972. Nitrogen mineralisation potentials of soils. *Soil Science Society American Proceedings*, 36, 465-472.
- [14] Stevenson, F.J., 1994. *Humus chemistry* - 2nd Edition (J. Wiley and Sons, eds), Hoboken, USA.

- [15] Testi A., C. De Nicola, G. Dowgiallo, 2010. Correspondence between plants and soil/environmental factors in beech forests of Central Apennines: from homogeneity to complexity. *Rendiconti di Scienze Fisiche e Matematiche dell'Accademia dei Lincei*, 21, 27-43.
- [16] Trinchera A., A. Benedetti, M. Antonelli, S. Salvatori, L. Nisini, 2007. Organic matter characterisation of amended soils under crop rotation in Mediterranean area. *Geophysical Research Abstracts*, 9-7635.
- [17] Trinchera A., F. Pinzari, A. Benedetti, 2001. Should we be able to define soil quality before “restoring” it? Use of soil quality indicators in Mediterranean ecosystems. *Minerva Biotecnologica*, 13, 13-18.
- [18] Trinchera A., F. Pinzari, A. Benedetti, P. Sequi, 1998. Defining soil quality in mediterranean forest systems: Note I: organic matter turnover. *Fresenius Environmental Bulletin*, 7, 437-446.
- [19] Wilson S. McG., D.G. Pyatt, D.C. Malcolm, T. Connolly, 2001. The use of ground vegetation and humus type as indicators of soil nutrient regime for an ecological site classification of British forests. *Forest Ecology and Management*, 140, 101-116.
- [20] Zanella A., B. Jabiol, J.F. Ponge, G. Sartori, De R. Waal, B. Van Delft, U. Graefe, N. Cools, K. Katzensteiner, H. Hager, M. Englisch, 2011. A European morpho-functional classification of humus forms. *Geoderma*, 164, 138-145.
- [21] Zanella A., R. Secco, L. Tarasconi, B. Jabiol, F. Viola, 2008. Struttura degli orizzonti diagnostici e classificazione delle forme di humus. *Forest@*, 5, 68-81.

Il monitoraggio idrogeologico della Tenuta presidenziale di Castelporziano (Roma)

Abstract – *Water level monitoring in the Presidential Estate of Castelporziano (Rome).* Castelporziano Presidential Estate is a natural environment of great value in Rome urban neighbourhoods. In the Presidential Estate a permanent network of groundwater monitoring wells is still working since 1995. The network includes 44 piezometers and wells, for manual water levels measurements; 14 most representative piezometers host multiparametric automatic probes continuously monitoring water level, temperature and electrical conductivity. Since 2007, periodic electrical conductivity, temperature and pH vertical logs have been taken in 14 wells. Seasonal water-table contours and electrical conductivity maps were carried out. Results show a positive situation of conservation and protection of groundwater resources, evidencing only two possible small critical areas, which must be further carefully monitored.

Key words: coastal aquifer, salt water intrusion, monitoring network.

Riassunto – La Riserva Presidenziale di Castelporziano è un ambiente naturale di inestimabile valore nell'area costiera prospiciente la città di Roma. Nella Riserva dal 1995 è attivo il monitoraggio della falda attraverso una rete comprendente 44 piezometri e pozzi per la misura del livello di falda. Tra questi, 14 piezometri rappresentativi sono attrezzati con sonde multiparametriche per il monitoraggio in continuo del livello di falda, della temperatura e della conducibilità elettrica delle acque. Dal 2007 sono state realizzate periodicamente diagrafie verticali dell'andamento con la profondità della conducibilità elettrica, della temperatura e del pH. Dal monitoraggio vengono prodotte trimestralmente carte dell'andamento piezometrico e di quello della conducibilità elettrica. I risultati ottenuti confermano una situazione positiva di conservazione e protezione della risorsa idrica sotterranea, evidenziando soltanto due possibili aree da tenere accuratamente sotto controllo per scongiurare future criticità ambientali relative alla potenziale intrusione salina in falda.

Parole chiave: acquifero costiero, intrusione salina, rete di monitoraggio.

¹ Dipartimento Scienze della Terra, Università di Roma – P.le Aldo Moro 5, 00185 Roma.

Introduzione

Il valore ambientale della Tenuta di Castelporziano, che dista solo 24 km dal centro di Roma, ha assunto una grande rilevanza nel corso degli ultimi decenni quando, accanto alla progressiva intensificazione delle misure di tutela, sono notevolmente aumentati gli interessi scientifici per lo studio dei vari aspetti tipici di questo territorio, che nonostante la sua vicinanza a zone ad alto grado di antropizzazione, può essere considerato ancora integro in tutte le sue componenti.

Per approfondire le attività di ricerca scientifica, nel 1994 fu ufficializzata la nascita del “Progetto per la creazione di un Sistema Informativo Territoriale Ambientale di Castelporziano” (S.I.T.A.C.); le ricerche multidisciplinari svolte dalle Istituzioni e dagli Enti che aderirono al progetto hanno avuto come obiettivo lo studio delle principali componenti ambientali (atmosfera, suolo, acque sotterranee, vegetazione, fauna e impatto antropico) del complesso ecosistema della Tenuta presidenziale. L'Osservatorio centro multidisciplinare per gli Ecosistemi costieri mediterranei, che ha sede nella Tenuta stessa, gestisce la banca dati del S.I.T.A.C. e provvede al suo periodico aggiornamento con i dati rilevati da diverse reti di monitoraggio ormai consolidate.

In questo contesto scientifico si colloca la linea di ricerca “Monitoraggio morfo-sedimentologico e idrogeologico della fascia litorale della Tenuta presidenziale di Castelporziano”, sviluppata dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università La Sapienza, con il duplice obiettivo di analizzare lo stato e le variazioni morfo-sedimentologiche della spiaggia emersa e di valutare, nell'immediato retrospiaggia, la posizione e le eventuali variazioni nel tempo dell'interfaccia fra la falda di acqua dolce e la sottostante acqua salata.

L'argomento di questa nota riguarda esclusivamente gli aspetti idrogeologici del progetto di ricerca; in particolare saranno esposti i risultati ottenuti dall'attività di acquisizione, elaborazione dei dati rilevati dalla rete di monitoraggio delle acque sotterranee della Tenuta presidenziale.

Morfologia

Nel territorio della Tenuta si susseguono, procedendo dall'entroterra verso la costa, una serie di motivi morfologici ben distinti ed evidenziati nella figura 1.

Il Fosso di Malafede, affluente di sinistra del Tevere, scorre tra 10 e 15 m di quota, in un'ampia valle alluvionale segnando il confine settentrionale della Tenuta e riceve in sinistra idrografica una serie di fossi minori (Fosso di Trafusa, Fosso della Cassa, fosso della Valle dell'Oro) che si originano all'interno della Tenuta incidendo profondamente il rilievo da cui provengono [6].

Il settore più rilevato della Tenuta, con quote comprese fra 40 e 80 m, corrisponde morfologicamente ad un blando altopiano, la cui sommità coincide con lo spartiacque idrografico fra il drenaggio diretto verso il Fosso di Malafede e quello

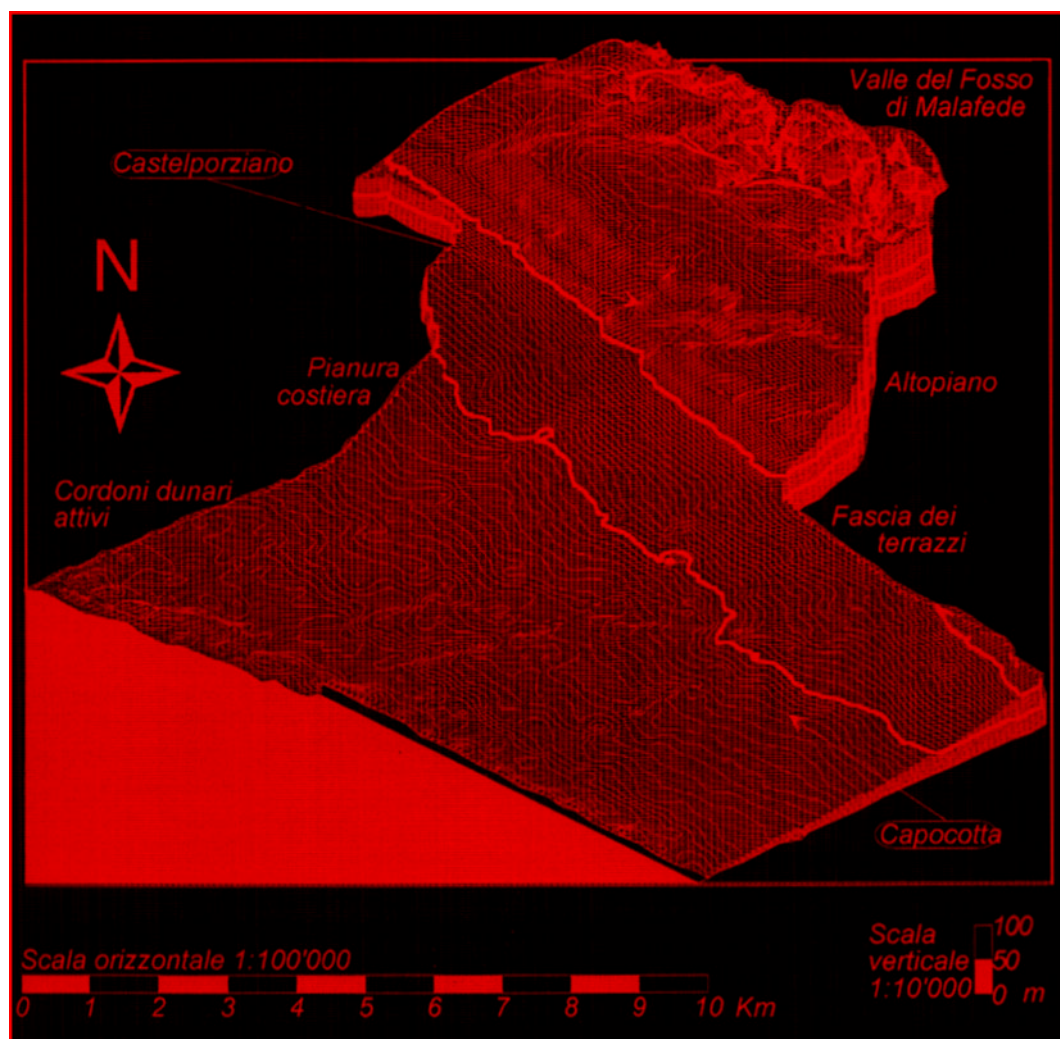


Fig. 1. Modello digitale dell'Elevazione (DEM) della Tenuta, in cui sono evidenziati gli elementi morfologici descritti nel testo (Busuoli *et alii*, 2001).

diretto verso mare. Sull'altopiano sono presenti piccoli invasi naturali con il fondo reso impermeabile da sedimenti limosi molto fini, dove si raccolgono stagionalmente le acque di pioggia dando luogo a "piscine temporanee".

Alle pendici meridionali dell'altopiano, tra 20 e 40 m di quota, sono presenti due ordini di terrazzi la cui origine è attribuita a fenomeni di trasgressione marina.

La piana costiera, che si estende a valle dei terrazzi, è caratterizzata da ondulazioni, poco elevate, corrispondenti ad antiche dune consolidate; nelle depressioni

interdunali sono presenti invasi naturali permanenti (“piscine permanenti”), come quella di Tor Paterno, che costituiscono locali affioramenti della superficie di falda [11]. La piana costiera si raccorda alla spiaggia attuale con una serie di cordoni attivi, percorsi dalla S.S. 601 Ostia-Anzio.

L'estremo settore sud-occidentale della piana costiera della Tenuta è attraversato dal Canale Allacciante Pantanello (Canale Palocco) che raccoglie in un alveo artificiale le acque reflue del Consorzio di Bonifica di Casalpalocco. Tutti gli altri corsi d'acqua che scorrono nella piana hanno carattere temporaneo (Fosso del Camilletto, Canale della Santola, Fosso delle Rogare) e sono stati regimati per buona parte della loro lunghezza con sponde, alvei e briglie artificiali [6].

Geologia

I terreni in affioramento all'interno della Tenuta sono costituiti prevalentemente da sabbie di diversa origine e differenti caratteristiche sedimentologiche. Dalla riva del mare fino a quota circa 5 m affiorano sabbie e depositi interdunali recenti, dune costiere consolidate con molluschi terrestri e sabbie con ghiaia minuta [14]. Le sabbie, di colore giallo-nocciola, si presentano poco coerenti con granulometria da media a grossolana [5]. Localmente si rinvencono anche alluvioni deltizie antiche, riempimento di limi e argille gialle e livelli torbosi riferibili alle propaggini più meridionali del delta tiberino [14]. A quote superiori a 5 m affiorano sabbioni rossastri dell'antico cordone dunare (“Duna Rossa”). Si tratta di sabbie di origine eolica, molto compatte, a granulometria medio-fine, localmente rimaneggiate in ambienti fluvio-lacustri e costieri [10].

A monte della fascia dei terrazzi, sotto la copertura sabbiosa, la successione stratigrafica è caratterizzata dalla presenza di prodotti vulcanici dei Colli Albani e dall'alternanze di sabbie e ghiaie, talvolta cementate, con argille o limi della “Formazione di Ponte Galeria” [10; 12].

Le vulcaniti, costituite da tufi e pozzolane localmente rielaborate in ambienti fluvio-palustri, affiorano in corrispondenza delle ripide pareti delle incisioni che solcano il rilievo in sinistra idrografica del fosso di Malafede. La “Formazione di Ponte Galeria”, stratigraficamente superiore ai depositi vulcanici, accorpa terreni molto eterogenei (ghiaie, sabbie, limi e argille) ed è presente solo nel settore rilevato (altopiano) dove raggiunge spessori massimi di 30 m [6].

Nella fascia costiera della Tenuta, in località Tor Paterno (Fig. 2), è stato riconosciuto il limite SE dell'ala sinistra della piana deltizia superiore del Tevere. La piana deltizia superiore corrisponde alla zona più interna del delta emerso del Tevere, ed è caratterizzata da aree lagunari e palustri, leggermente depresse (massimo -1 m s.l.m.), riempite di sedimenti limoso-argilloso-torbosi [1; 2; 9].

Le perforazioni eseguite dall'ENEA nell'ambito del progetto S.I.T.A.C. per l'allestimento della rete di monitoraggio idrogeologico hanno, infatti, incontrato alternanze di depositi deltizi molto eterogenei (ghiaie in matrice argillosa, sabbie

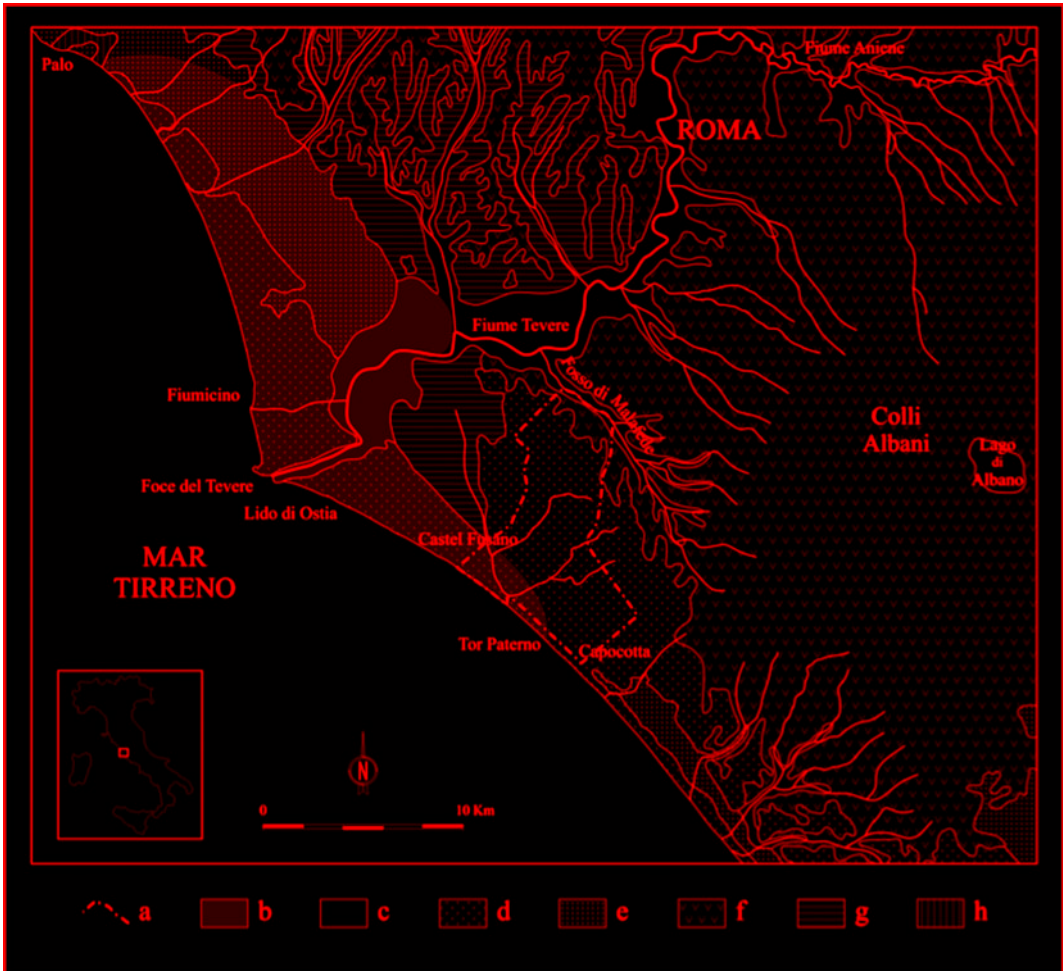


Fig. 2. Ubicazione della Tenuta rispetto all'estensione dei depositi del delta del Tevere; a) limite della Tenuta; b) piana deltizia del Tevere; c) depositi alluvionali; d) sabbie dunali; e) depositi fluvio-lacustri; f) vulcaniti; g) depositi clastici eterogenei; h) argille marine.

limose) e localmente livelli di torba, attribuibili ai depositi del delta del Tevere, solo nel settore di fascia costiera ad ovest di Tor Paterno. La sedimentazione tipica di ambiente deltizio sfuma progressivamente in quella di ambiente costiero, procedendo verso sud-ovest e nel settore orientale (Capocotta) la copertura sabbiosa poggia direttamente su depositi prevalentemente argillosi pleistocenici. Proprio nell'area di Capocotta, infatti, il basamento tende a risalire e lo spessore della copertura sabbiosa si riduce in proporzione.

Il basamento argilloso (Pleistocene inferiore), costituito da argille, argille sabbiose e marnose di origine sia marina che costiera, non è presente in affioramento all'interno della Tenuta, ma è stato più volte intercettato nelle perforazioni profonde. La successione argillosa è stata raggiunta a quota 15 m s.l.m. da un sondaggio eseguito dall'ACEA sull'altopiano; altri sondaggi, realizzati dall'ENEA per la realizzazione della rete di monitoraggio della falda, hanno raggiunto il substrato argilloso a quote comprese fra 6 e 31 m s.l.m. Verso mare il tetto della successione argillosa si approfondisce notevolmente sotto il vertice sud-occidentale della Tenuta, dove i risultati delle indagini geofisiche indicherebbero una profondità di 40 m sotto al livello del mare [2]. Nella figura 3 è riportata la ricostruzione proposta dagli Autori [6] dell'andamento sepolto del tetto del substrato argilloso che risulterebbe marcatamente ondulato con una dorsale rilevata e allungata in direzione NW-SE, che culmina fra la Santola e Capocotta a quote superiori a 4m s.l.m. [6].

Idrogeologia

Il territorio della Tenuta di Castelporziano è sede di un unico acquifero principale, di cui è stata verificata la continuità idraulica dal Fosso di Malafede fino al mare. La falda libera, contenuta prevalentemente nel complesso delle sabbie dunali [3], circola indistintamente nei sedimenti sabbiosi di tipo deltizio e in quelli, sempre sabbiosi, di tipo costiero, sostenuta alla base dal substrato argilloso pleistocenico (Fig. 4). Nel settore più settentrionale, una limitata porzione dell'acquifero è costituita dalle sabbie e ghiaie dalla formazione di Ponte Galeria [5].

Locali spartiacque sotterranei, legati all'andamento sepolto del substrato impermeabile, determinano un ridotto drenaggio della falda verso nord nel settore settentrionale (Fosso di Malafede) e un prevalente drenaggio sotterraneo verso il mare nel settore meridionale.

Nel settore settentrionale lo spessore della falda oscilla fra 10 e 15 m, si riduce ad un metro in corrispondenza della risalita del substrato argilloso fino a scomparire del tutto nella zona di Santola-Capocotta, nelle stagioni particolarmente aride. Il progressivo approfondimento del tetto delle argille verso mare, determina un corrispondente aumento di spessore della falda fino ad un massimo di 30-40 m in corrispondenza del confine con Castelfusano. Nel settore costiero di Capocotta, dove il substrato impermeabile è relativamente meno profondo, l'orizzonte saturo dell'acquifero raggiunge al massimo 15 metri di spessore [6].

Il locale assetto idrostrutturale esclude la possibilità di una continuità idraulica dell'acquifero di Castelporziano con l'acquifero vulcanico dei Colli Albani. Il fosso di Malafede, che delimita verso nord-est la Tenuta, raccoglie l'intero contributo della falda basale del bacino idrogeologico del versante nord-occidentale dell'Unità dei Colli Albani [7]. In corrispondenza del confine sud-orientale (Capocotta) della Tenuta, l'alto strutturale di Pratica di Mare-Castelporziano [8] determina la risalita del substrato impermeabile, costituendo un limite di flusso che separa la circola-

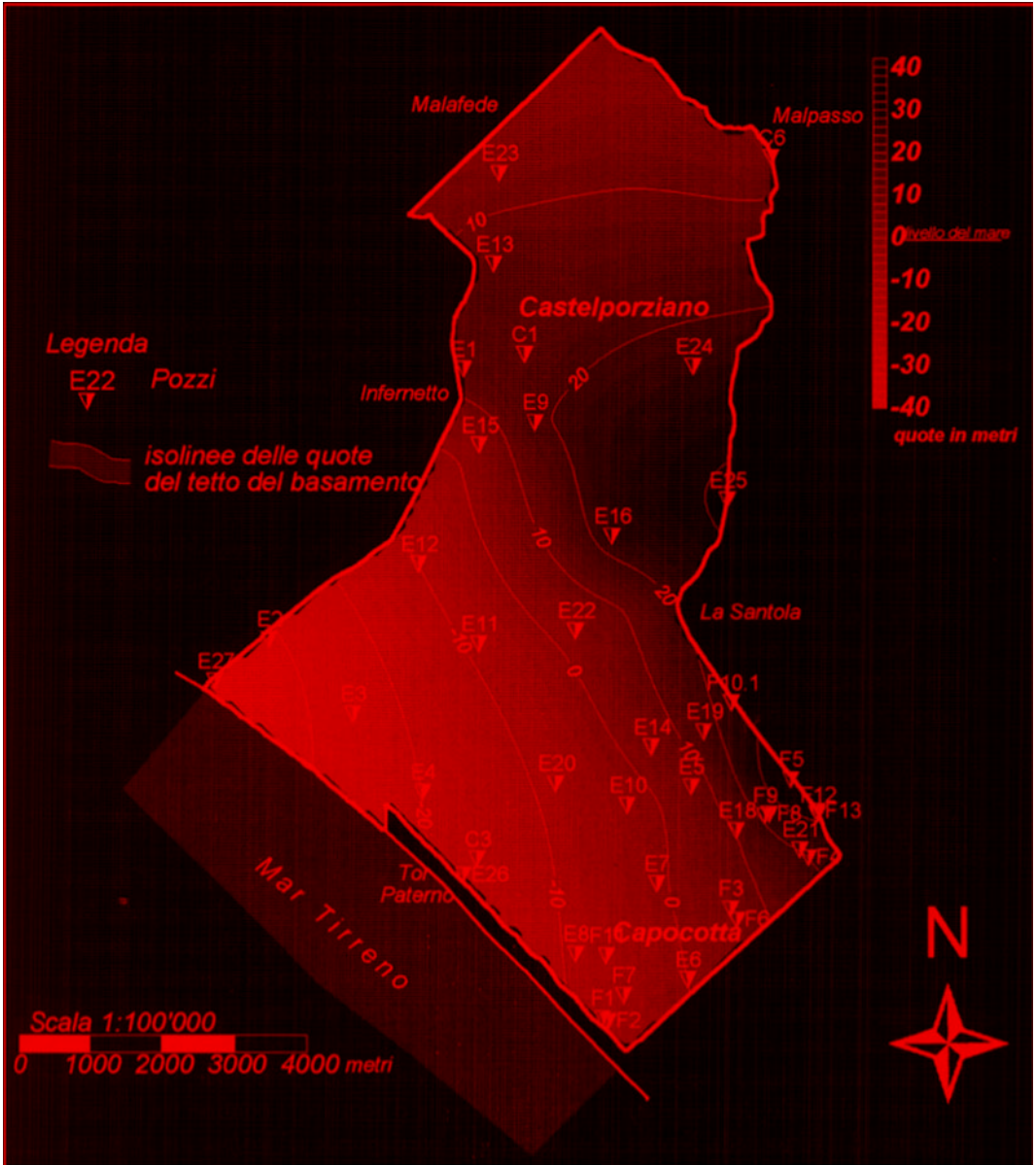


Fig. 3. Carta della quota sul livello del mare del tetto del substrato argilloso impermeabile (da Busuoli *et alii*, 2001).

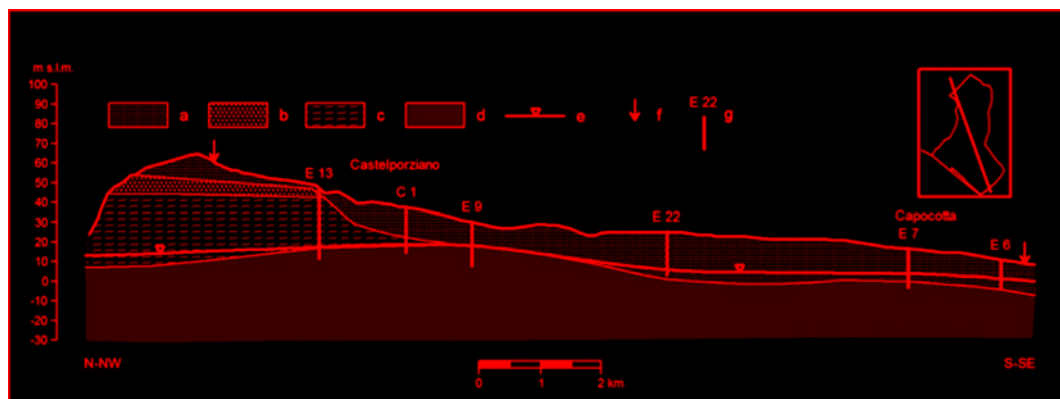


Fig. 4. Sezione idrogeologica schematica (Bucci, 1996); a) “Duna Antica” (Sabbie); b) Tufti; c) “Ponte Galeria” (Alternanza di sabbie ed argille con ghiaie); d) Argille; e) falda acquifera; f) confine della Tenuta; g) pozzi.

zione idrica sotterranea interna della Tenuta da quella esterna. Solo localmente, lungo il confine orientale in corrispondenza dello spartiacque morfologico, sono state riconosciute condizioni favorevoli per un limitato apporto idrico sotterraneo proveniente dall'esterno della Tenuta, la cui entità può essere considerata trascurabile [6]; l'alimentazione della falda può essere quindi attribuita quasi interamente agli apporti meteorici locali. L'acquifero resta aperto verso mare e verso il delta del Tevere, che costituiscono i principali punti di recapito della locale circolazione idrica sotterranea.

La brusca diminuzione del gradiente idraulico, posta in corrispondenza dell'isopiezia 5 m s.l.m., è da attribuire al passaggio della circolazione idrica dai depositi della duna antica, caratterizzati da un maggiore addensamento e quindi da permeabilità relativa minore, a quelli della duna recente e attuale meno addensati e quindi caratterizzati da una maggiore permeabilità relativa [5].

La rete di monitoraggio idrogeologico

Nel territorio della Tenuta è presente una rete di controllo della falda sotterranea progettata e realizzata nel 1994 dall'ENEA che ne ha curato la gestione fino al 2005, come partecipante al Progetto per la creazione di un Sistema Informativo Territoriale Ambientale di Castelporziano (S.I.T.A.C.) [6]. Dall'estate 2007 la gestione della rete di monitoraggio è stata acquisita dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università La Sapienza di Roma nell'ambito del progetto di ricerca “Monitoraggio morfo-sedimentologico e idrogeologico della fascia litorale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano” in collaborazione con l'Accademia Nazionale delle Scienze e l'Osservatorio centro multidisciplinare per gli Ecosistemi costieri mediterranei.

La rete di monitoraggio, originariamente progettata con maglie teoriche di 1,5 chilometri, è stata successivamente adattata alla reale morfologia del territorio tenendo conto dei pozzi preesistenti, dei fossi e dei canali. Attualmente comprende 44 punti di controllo (Fig. 5) di cui 34 corrispondenti ai piezometri perforati dall'ENEA, 9 piezometri e pozzi preesistenti (costruiti precedentemente al 1995 per uso irriguo, antincendio, privato, ecc. e un piezometro, esterno alla Tenuta, appositamente perforato nel marzo 2006 dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma "La Sapienza".

La perforazione di quest'ultimo piezometro (Ca1) si è resa necessaria per integrare la rete di monitoraggio di un punto di controllo della zona di transizione acqua dolce-acqua salata; il piezometro, profondo circa 28 m ed ubicato nella spiaggia antistante il confine della Tenuta, attraversa la zona di transizione ed intercetta l'acqua marina sottostante la falda di acqua dolce.

Quattordici piezometri della rete, ubicati lungo la fascia costiera, sono dotati di sonde automatiche per il rilevamento continuo con frequenza oraria della profondità del livello statico, della temperatura e della conducibilità elettrica dell'acqua di falda e in 13 piezometri profondi vengono periodicamente rilevate le principali caratteristiche chimico-fisiche delle acque (temperatura, pH, conducibilità elettrica, potenziale redox, ossigeno disciolto) secondo le diagrafie verticali di profondità.

La rete descritta è istituzionalmente finalizzata al monitoraggio quali-quantitativo della risorsa idrica sotterranea della Tenuta Presidenziale, caratterizzata da una particolare condizione di integrità locale inserita in un ambiente circostante sottoposto ad una forte pressione antropica. Il costante controllo della risorsa idrica sotterranea consente di seguire, con un buon grado di approssimazione, l'evoluzione nel tempo e nello spazio della posizione della zona di interfaccia acqua dolce – acqua salata e di individuare, quindi, le eventuali situazioni di squilibrio della falda.

L'attività di monitoraggio è svolta periodicamente con campagne di rilevamento trimestrali in cui viene eseguito un rilievo freaticometrico manuale su tutti i piezometri della rete, il rilievo delle diagrafie verticali di profondità delle caratteristiche chimico-fisiche in 13 piezometri, l'acquisizione dei dati della rete automatica di controllo e la verifica del buon funzionamento delle sonde e delle centraline di acquisizione.

Dal settembre 2007 sono state eseguite 11 campagne di rilevamento; tutti i dati raccolti, dopo una prima revisione e verifica, sono stati riversati nella banca dati del Sistema Informativo Territoriale Ambientale di Castelporziano (S.I.T.A.C.) dell'Osservatorio centro multidisciplinare per gli Ecosistemi costieri mediterranei, che ha sede all'interno della Tenuta stessa.

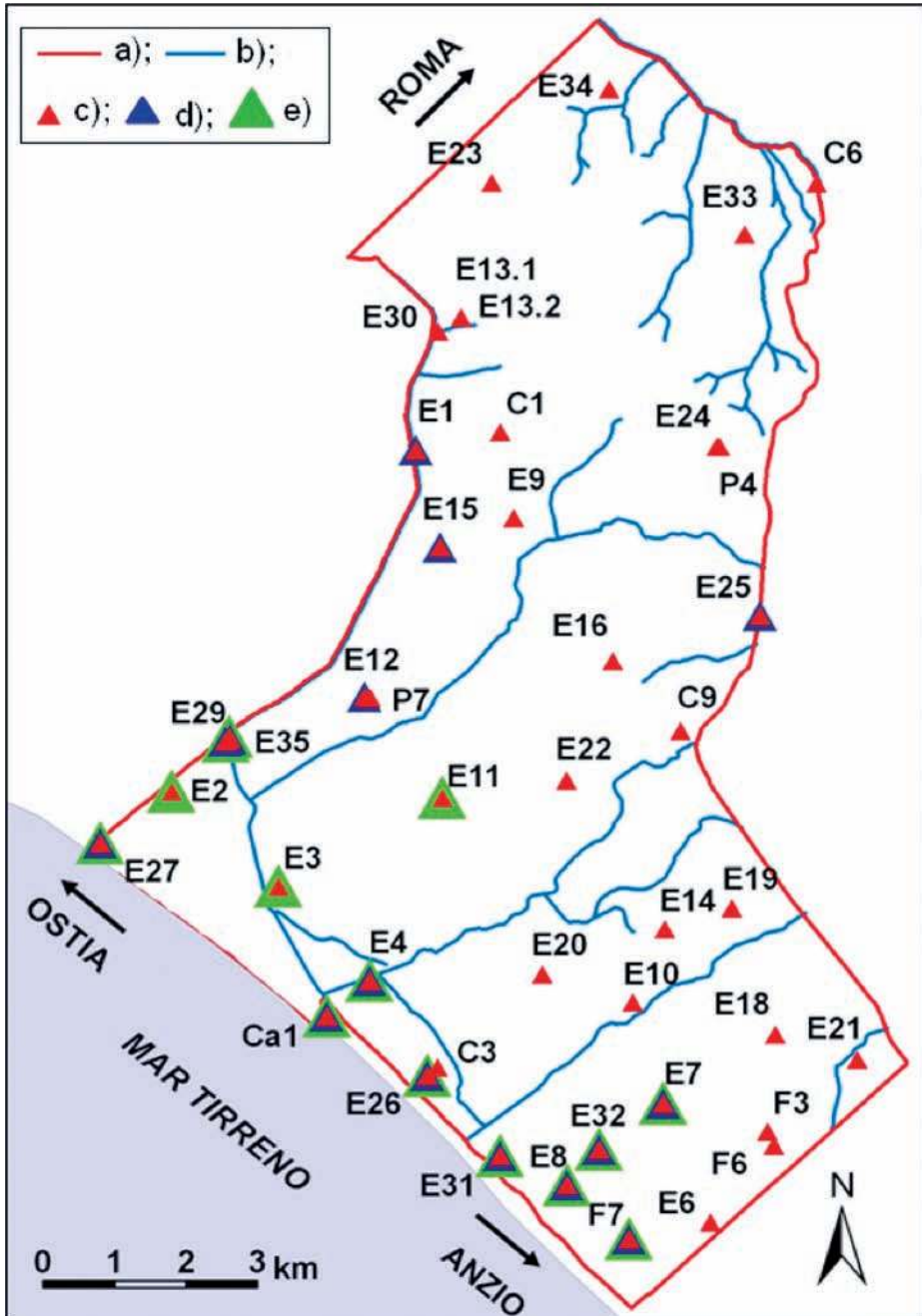


Fig. 5. Attuale rete di monitoraggio idrogeologico della Tenuta Presidenziale di Castelporziano; a) limite della Tenuta; b) reticolo idrografico; c) piezometri della rete di monitoraggio; d) piezometri con sonde automatiche; e) piezometri in cui sono rilevati log verticali dei parametri chimico-fisici delle acque.

Elaborazione ed interpretazione dei dati

I dati raccolti dalla rete di monitoraggio, elaborati ed interpretati presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma "La Sapienza", sono stati utilizzati per la realizzazione di:

- carte piezometriche;
- carte di conducibilità elettrica;
- diagrafie dei parametri chimico-fisici rilevati.

Questo tipo di rappresentazione dei dati consente di evidenziare, in tempi immediati, locali situazioni critiche o di particolare attenzione legate ad anomale interferenze fra acqua di intrusione marina e falda costiera.

Nelle elaborazioni e le interpretazioni proposte sono stati tenuti in considerazione anche i risultati ottenuti dalla revisione e dell'analisi dei dati preesistenti, raccolti nel periodo 1995-2005 direttamente dall'ENEA. Un primo confronto è stato fatto fra i valori medi annui dei livelli piezometrici, calcolati nel 2007 e 2008, con quelli relativi all'intera serie di dati disponibili dal 1995. Il grafico di figura 6 propone il confronto dei livelli medi annui della falda in tre piezometri della fascia costiera. I livelli piezometrici medi annui rilevati negli ultimi due anni corrispondono ai valori minimi del periodo di osservazione, essendo leggermente inferiori a quelli del biennio 2002-2003. Questi minimi piezometrici, comunque a carattere temporaneo, sono da mettere in relazione con la scarsità di precipitazioni degli anni immediatamente precedenti, come mostrato dagli istogrammi relativi al 2001 e al 2006-2007, costruiti con i dati pluviometrici della stazione meteorologica di

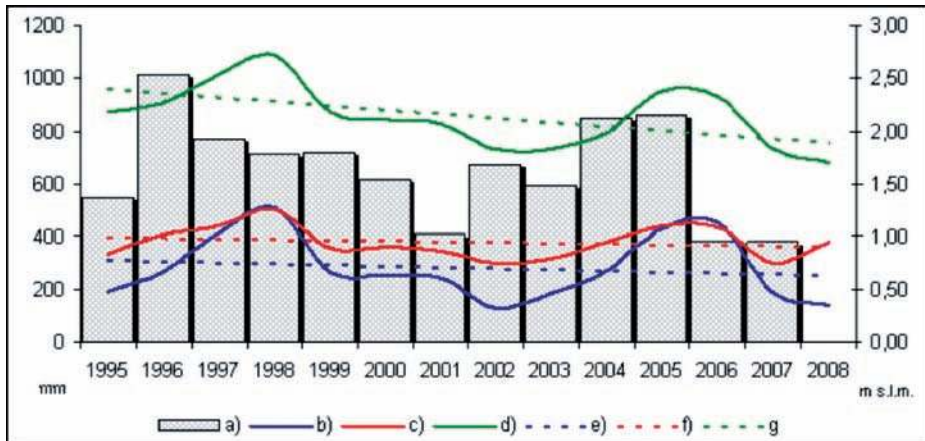


Fig. 6. Livelli medi annui della falda e relative linee di tendenza in tre piezometri della fascia costiera, e loro confronto con le precipitazioni annue; a) stazione pluviometrica di Castello; b) piezometro E2; c) piezometro E3; d) piezometro E8; e) linea di tendenza (E2); f) linea di tendenza (E3); g) linea di tendenza (E8). L'ubicazione dei piezometri è riportata in figura 5.

Castello, ubicata all'interno della Tenuta stessa. L'andamento medio annuo dei livelli piezometrici mostra una tendenza al progressivo abbassamento della falda nel tempo (linee tratteggiate), in accordo con un'attuale ed ormai prolungata situazione di generale riduzione della disponibilità della risorsa idrica rilevata in altri acquiferi dell'Italia centrale [13].

Sono stati, inoltre, elaborati ed interpretati i dati registrati dalle sonde automatiche e archiviati nella banca dati dell'Osservatorio. La disponibilità di questi dati è stata di particolare aiuto per la ricostruzione dell'evoluzione temporale delle situazioni critiche individuate, che verranno descritte nei successivi paragrafi. I dati acquisiti dalle sonde in rilevamento continuo, infatti, vengono riportati in grafici in cui l'evoluzione di eventuali situazioni critiche a diverse scale temporali (oraria, giornaliera, mensile, ecc) risulta di immediata lettura e interpretazione.

Carte piezometriche

Le superfici piezometriche relative ai rilievi freaticometrici eseguiti dal settembre 2007 al dicembre 2008, riportate in figura 7, mostrano un andamento generale in accordo con quanto proposto dalla letteratura [5; 6] e sintetizzato nell'inquadramento idrogeologico.

L'andamento dello spartiacque sotterraneo, corrispondente all'alto strutturale del substrato impermeabile rappresentato in figura 3, condiziona le principali direttrici di flusso soprattutto verso sud e sud-est, mentre la componente di flusso diretta verso nord sembrerebbe trascurabile. In tutte le piezometrie riportate è, inoltre, osservabile nel settore sud-occidentale uno spartiacque sotterraneo orientato NE-SW, particolarmente evidente nei mesi invernali e primaverili, che dividerebbe le direttrici del deflusso sotterraneo nelle due componenti principali: la componente orientale drenante verso il delta del Tevere, e la componente meridionale che trova il suo punto di recapito nel mare.

Il gradiente idraulico medio, che a monte dell'isopieza 5 m assume valori di circa 10‰, nella fascia costiera diminuisce fino ad un valore medio inferiore al 3‰. La brusca variazione del gradiente idraulico è da attribuire al passaggio della circolazione idrica dai depositi della duna antica, caratterizzati da un maggiore addensamento e quindi da permeabilità relativa minore, a quelli della duna recente e attuale meno addensati e quindi caratterizzati da una maggiore permeabilità relativa [5].

Tutti i rilievi freaticometrici hanno messo in evidenza l'esistenza di una depressione piezometrica in località Ponte Fusano in corrispondenza del piezometro E35, al confine occidentale della Tenuta (cerchio rosso in figura 7). In questo piezometro è stata rilevata una stabile depressione compresa fra quota -1,01 m s.l.m. (agosto 2008) e -0,50 m s.l.m. (maggio 2008). Le cause della depressione piezometrica potrebbero essere attribuite alla presenza di un impianto di prelievo di acque sotterranee, ubicato ad una distanza di circa 100 m ed utilizzato per l'irrigazione

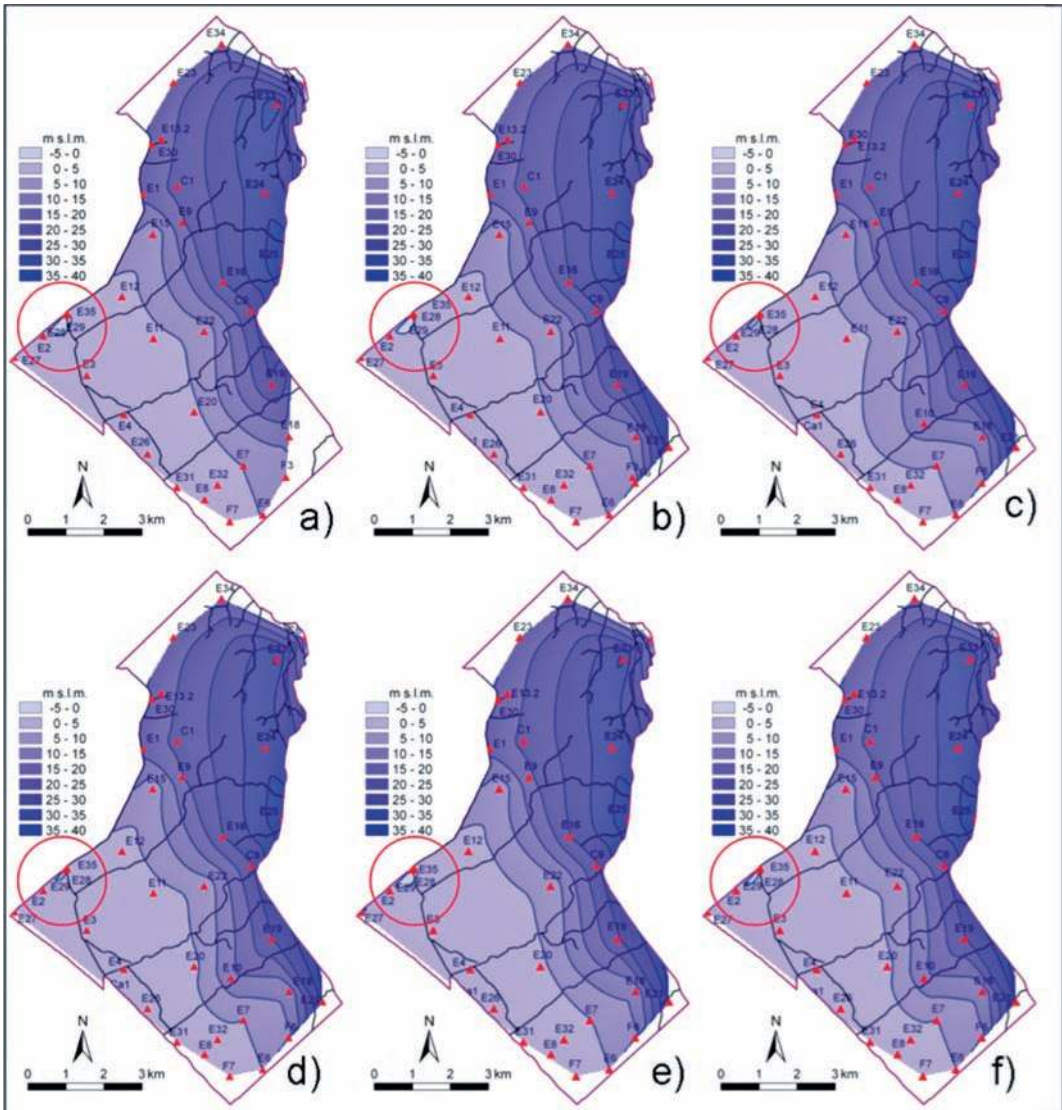


Fig. 7. Carte piezometriche relative alle campagne di rilievo freaticometrico; a) settembre 2007; b) novembre 2007; c) marzo 2008; d) maggio 2008; e) agosto 2008; f) dicembre 2008. Con il cerchio rosso è indicata la zona di depressione piezometrica di Ponte Fusano.

interna della Tenuta. Il punto di prelievo è costantemente monitorato da altri due piezometri, in cui l'abbassamento della piezometria risulterebbe meno evidente ($-0,26$ m s.l.m. nell'agosto 2008; $-0,20$ m s.l.m. nel settembre 2007).

Le superfici piezometriche relative ai diversi periodi dell'anno non mostrano escursioni stagionali del livello di falda apprezzabili alla scala della riproduzione cartografica; l'escursione stagionale dei livelli piezometrici è bene rappresentata nella figura 8, dove sono riportati gli andamenti medi mensili della profondità dei livelli statici registrati dalle sonde automatiche installate in alcuni piezometri.

L'escursione stagionale dei livelli piezometrici, è generalmente maggiore nei piezometri della fascia costiera, dove la differenza fra periodo estivo e primaverile è nell'ordine del metro con il massimo nei mesi di aprile-maggio e il minimo nei mesi di agosto-settembre (linee continue in figura 8). Nell'entroterra l'escursione piezometrica stagionale è in genere inferiore a 20 cm, non evidenziabile alla scala della figura 8 (linee tratteggiate). Gli andamenti medi mensili dei livelli piezometrici relativi al periodo 2007-2008, riportati nel grafico, confermano la tendenza generalizzata al progressivo abbassamento della falda, già evidenziata in figura 6.

Carte della conducibilità elettrica

Nella porzione costiera dell'acquifero di Castelporziano è stata ricostruita la distribuzione spaziale dei valori di conducibilità elettrica alle diverse profondità della falda, utilizzando i valori di questo parametro rilevati periodicamente secondo le diagrafie verticali di profondità. La profondità dei piezometri utilizzati ha consentito un'attendibile ricostruzione dell'andamento della conducibilità fino alla quota di -10 m s.l.m.

Sono state, quindi, realizzate le carte di conducibilità elettrica della falda riferite alla superficie della falda, alla quota -5 m s.l.m. e alla quota -10 m s.l.m. Nella figura 9, vengono mostrate le distribuzioni spaziali della conducibilità rilevate nel maggio 2008 e nel mese di agosto 2008, corrispondenti, rispettivamente, al massimo e minimo piezometrico del periodo settembre 2007 – dicembre 2008. I valori di conducibilità riportati sono stati tutti riferiti alla temperatura di 25°C .

La conducibilità elettrica superficiale della falda costiera varia localmente fra alcune centinaia di $\mu\text{S}/\text{cm}$ e $2000 \mu\text{S}/\text{cm}$, ad eccezione di quanto rilevato nel piezometro E31 (località Pantan di Lauro – Discobolo) nel settore sudorientale della fascia costiera, dove la conducibilità elettrica superficiale supera i $2000 \mu\text{S}/\text{cm}$. Alla quota di -5 m s.l.m. i valori di conducibilità elettrica si uniformano intorno ai $2000 \mu\text{S}/\text{cm}$, ad eccezione ancora del piezometro E31 dove i valori di conducibilità elettrica si mantengono superiori (2265 - $2464 \mu\text{S}/\text{cm}$).

Alla quota -10 m s.l.m., i valori si mantengono pari a circa $2000 \mu\text{S}/\text{cm}$, ad eccezione sempre del piezometro E31 dove si rilevano valori di conducibilità elettrica maggiori (2569 - $2625 \mu\text{S}/\text{cm}$). In questo stesso piezometro la conducibilità elettrica misurata a fondo pozzo, corrispondente ad una quota di -18 m s.l.m., ha

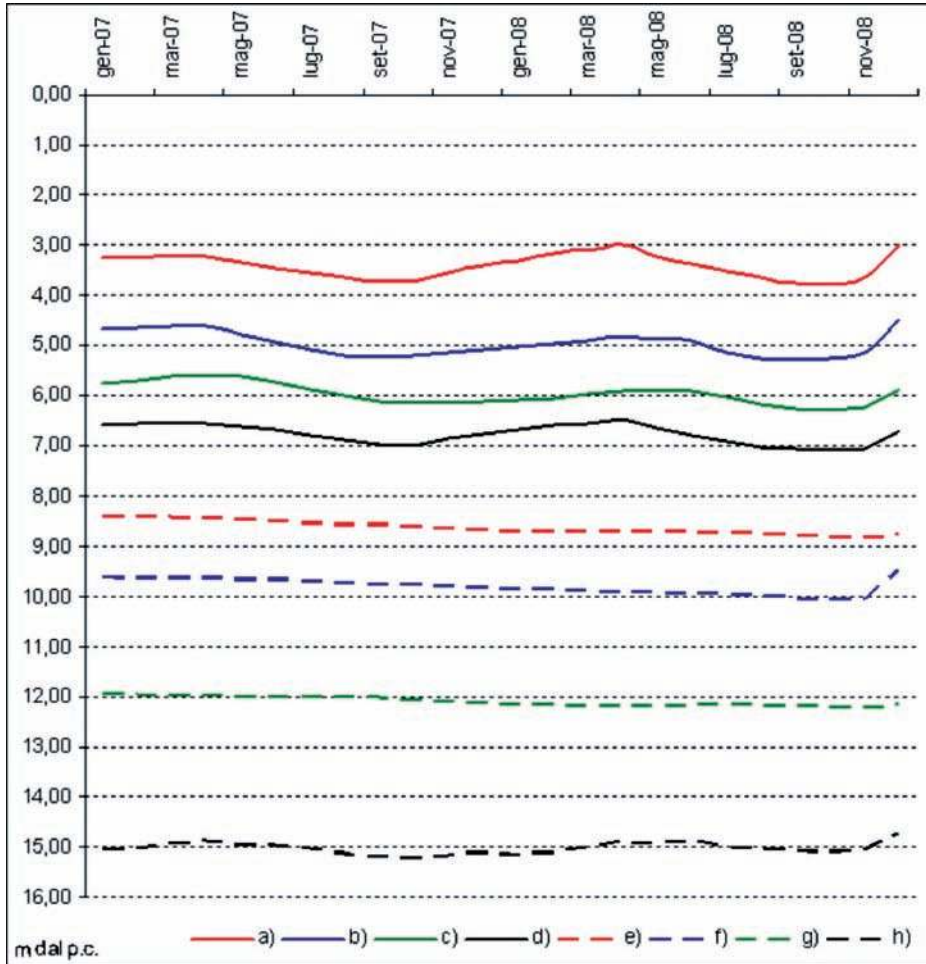


Fig. 8. Andamento medio mensile delle profondità dei livelli statici registrati dalle sonde automatiche; a) piezometro E4; b) piezometro E35; c) piezometro E1; d) piezometro F7; e) piezometro E32; f) piezometro E12; g) piezometro E7; h) piezometro E15. L'ubicazione dei piezometri è riportata in figura 5.

raggiunto valori prossimi a $5000 \mu\text{S}/\text{cm}$ in occasione di tutte le campagne eseguite. Nel maggio 2008, alla quota di -10 m , è stato registrato, anche, un temporaneo aumento della conducibilità elettrica nel piezometro Ca1 ($4600 \mu\text{S}/\text{cm}$), non rilevato nelle altre campagne di rilevamento.

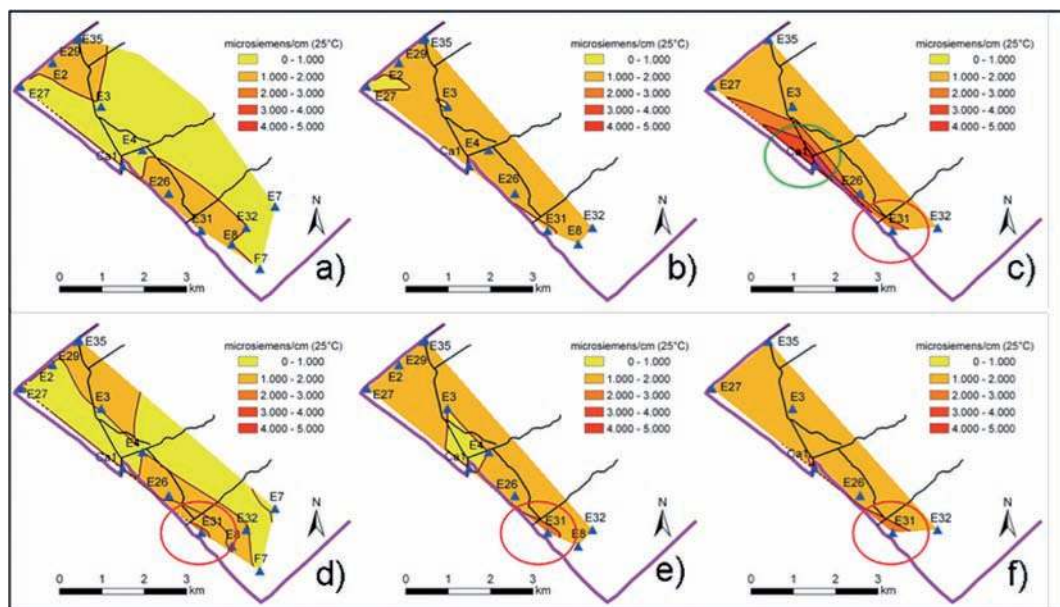


Fig. 9. Carte della conducibilità elettrica a 25°C dell'acqua di falda; a) conducibilità alla superficie della falda del maggio 2008; b) conducibilità a quota -5 m s.l.m. del maggio 2008; c) conducibilità alla superficie della falda dell'agosto 2008; d) conducibilità a quota -10 m s.l.m. dell'agosto 2008; e) conducibilità a quota -5 m s.l.m. dell'agosto 2008; f) conducibilità a quota -10 m s.l.m. dell'agosto 2008. Con il cerchio rosso è indicata la zona di anomalia di Pantani di Lauro-Discolobolo; con il cerchio verde quella del Cancellone 1 della Spiaggia di Castelporziano.

Diagrafie dei parametri chimico-fisici

Il piezometro Ca1 intercetta l'acqua marina a circa -24 m s.l.m. (conducibilità elettrica superiore a 21000 $\mu\text{S}/\text{cm}$); questo piezometro costituisce, quindi, un punto particolarmente rappresentativo della rete di monitoraggio pur non trovandosi all'interno della Tenuta stessa. In tutti i periodi dell'anno, infatti, è ben evidente il brusco aumento della conducibilità da circa 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a valori superiori a 20000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, attribuibile al tetto della zona di transizione acqua dolce - acqua salata. L'escursione massima della quota del limite superiore dell'interfaccia è di circa 2 m, con un minimo rilevato nel settembre 2007 ed un massimo di maggio 2008 (Fig. 10), corrispondenti ai periodi di minimo e massimo piezometrico.

L'anomalia rappresentata nella carta della conducibilità elettrica di maggio 2008, alla quota -10 m s.l.m., relativa al piezometro Ca1 (Fig. 9), è ben evidente anche nella relativa diagrafia (Fig. 10). Nel grafico di maggio 2008 il passaggio alla zona di transizione, netto negli altri periodi dell'anno, presenterebbe, infatti, un'anomala risalita tra la quota -5 m e -15 m s.l.m., con valori di conducibilità intermedi. Questa temporanea situazione non sembrerebbe associata ad evidenti altera-

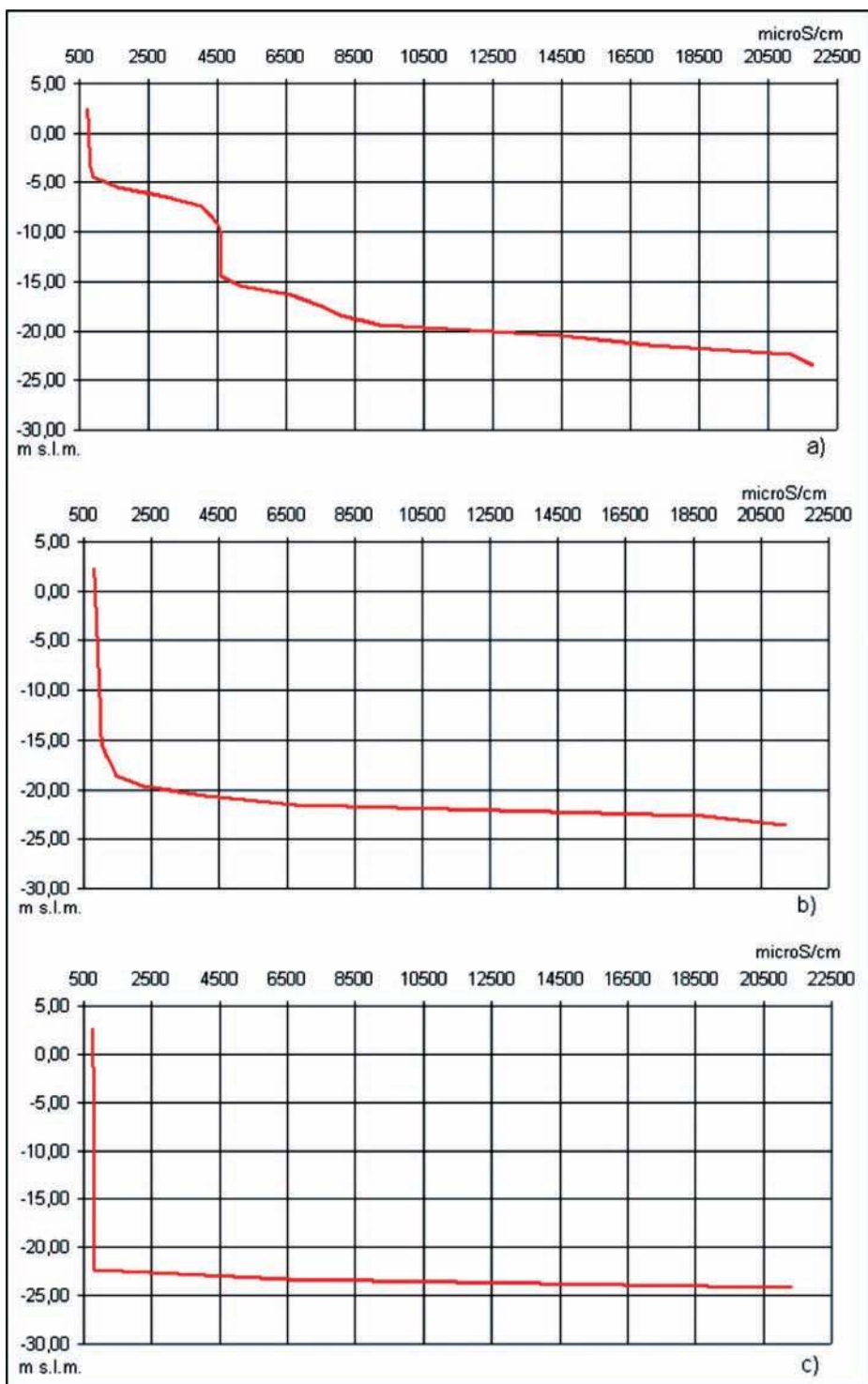


Fig. 10. Confronto fra le diagrafie delle conducibilità elettrica a 25°C rilevata nel piezometro Ca1 in diversi periodi dell'anno; a) maggio 2008; b) agosto 2008; c) novembre 2008.

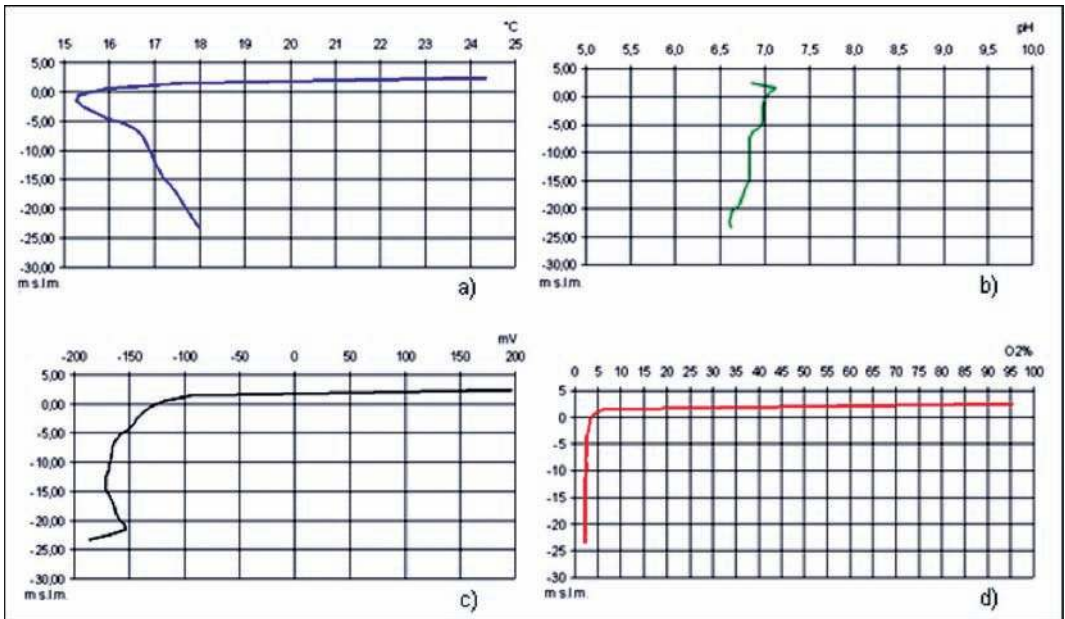


Fig. 11. Diagrafie delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque di falda rilevate nel piezometro Ca1 nel maggio 2008; a) temperatura; b) pH; c) potenziale di ossido-riduzione, d) ossigeno disciolto.

zioni degli altri parametri chimico-fisici della falda (Fig. 11). Gli andamenti della temperatura, pH, potenziale redox, e ossigeno disciolto, rilevati nelle diagrafie di profondità del piezometro Ca1 nel mese di maggio 2008, infatti, non evidenziano alcuna anomalia in corrispondenza dell'intervallo di quota -5 e -10 m s.l.m.

Aree di potenziale criticità

L'elaborazione e l'interpretazione dei dati raccolti ha confermato complessivamente un buono stato di conservazione dell'acquifero, individuando però due aree di potenziale criticità, in prossimità della fascia costiera.

La prima situazione, al margine sud-occidentale della Tenuta in località Ponte Fusano, presenta una costante depressione piezometrica dell'ordine di 0,5 -1 m al di sotto del livello del mare, da mettere in relazione con una vicina stazione di pompaggio utilizzata per le esigenze della Tenuta; la falda in questo punto è costantemente monitorata da tre piezometri circostanti il punto di presa, di cui due attrezzati con sonde automatiche di rilevamento continuo. In Fig. 12 vengono riportati i valori della profondità della falda (linea blu) e della conducibilità elettrica a fondo pozzo (linea rossa) registrati dalla sonda automatica del piezometro

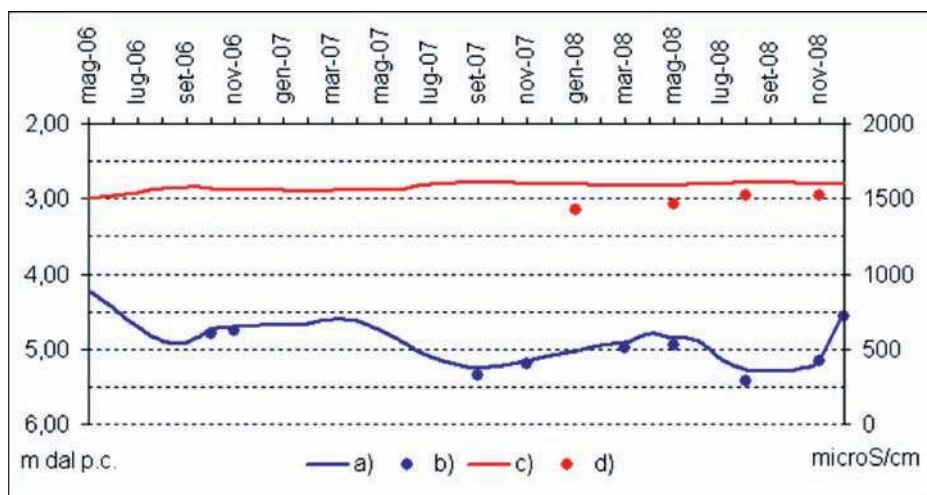


Fig. 12. Valori medi mensili della profondità del livello statico e della conducibilità elettrica a 25°C della falda rilevati nel piezometro E35; a) profondità della superficie di falda dal piano campagna rilevate dalla sonda automatica; b) profondità della falda misurate nelle campagne di rilievo piezometrico; c) conducibilità elettrica a 25°C rilevata dalla sonda automatica; d) conducibilità elettrica a 25°C misurata a fondo pozzo durante il rilevamento delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque di falda.

E35, dove si rileva il maggior abbassamento piezometrico. I dati orari registrati dalla primavera del 2006 sono stati trasformati in valori medi mensili per facilitare la lettura del grafico stesso.

Nel grafico sono riportati, inoltre, i valori misurati in occasione delle campagne freaticometriche (punti blu) e dei valori di conducibilità idraulica (punti rossi) rilevati nella realizzazione periodica delle diagrafie verticali di profondità, che confermano l'attendibilità dei risultati ottenuti dal rilevamento automatico.

Il grafico mostra un progressivo abbassamento del livello piezometrico e una sostanziale stabilità dei valori di conducibilità elettrica a fondo pozzo, che si mantengono mediamente pari a 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La depressione piezometrica, presumibilmente provocata dal pompaggio, non ha quindi, per il momento, alterato in maniera rilevabile l'equilibrio naturale fra la falda e l'acqua salata.

La criticità della seconda situazione, rilevata nel settore sud-orientale (località Pantan di Lauro - Discobolo), risulterebbe potenzialmente più sospetta, perché al progressivo aumento dei valori di conducibilità si associa anche una graduale diminuzione del livello piezometrico.

Nel grafico di Fig. 13, realizzato con le stesse modalità di quello precedente, il fenomeno è ben evidente fino al settembre 2007. Problemi tecnici al sensore della conducibilità elettrica della sonda automatica non hanno consentito di seguire con adeguata attenzione l'evoluzione del fenomeno nel 2008. L'interpretazione dei

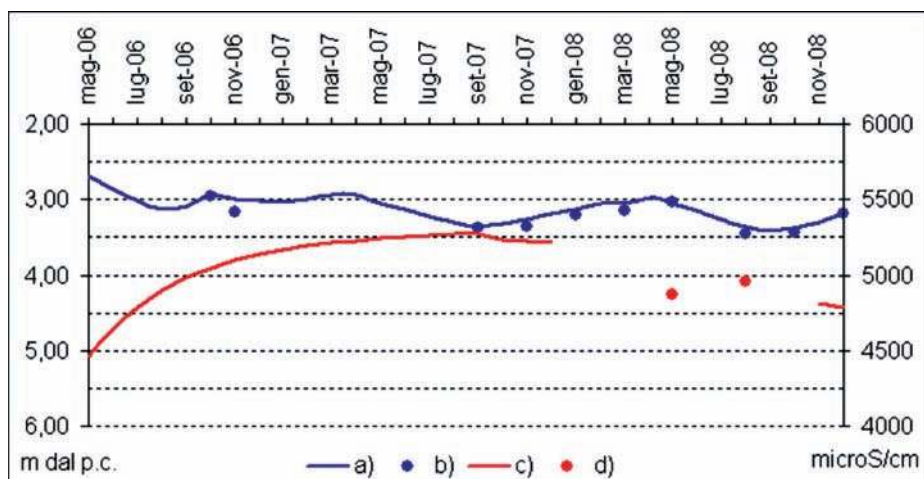


Fig. 13. Valori medi mensili della profondità del livello statico e della conducibilità elettrica a 25°C della falda rilevati nel piezometro E31; a) profondità della superficie di falda dal piano campagna rilevate dalla sonda automatica; b) profondità della falda misurate nelle campagne di rilievo piezometrico; c) conducibilità elettrica a 25°C rilevata dalla sonda automatica; d) conducibilità elettrica a 25°C misurata a fondo pozzo durante il rilevamento delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque di falda.

valori di conducibilità elettrica rilevati manualmente e dei dati acquisiti automaticamente dalla sonda, ripristinata dal novembre 2008, indicherebbe un'attuale fase di stabilizzazione del fenomeno. Tale fenomeno costituisce, comunque, una significativa anomalia in quanto i valori di conducibilità elettrica sia superficiale che profondi, anche se attualmente stabilizzati, sono decisamente superiori ai valori medi rilevati nella restante porzione dell'acquifero di Castelporziano.

Le cause di questa anomalia dovranno essere approfonditamente indagate, con una migliore caratterizzazione della situazione locale della falda, ottenuta dall'integrazione del monitoraggio con l'esecuzione di analisi chimiche delle acque in programma nell'immediato futuro. È necessaria, inoltre, un'accurata verifica degli utilizzi delle acque sotterranee nella zona di litorale esterna alla Tenuta, dove l'attività balneare e di ristoro è ben sviluppata, soprattutto nel periodo estivo.

Conclusioni

La rete di monitoraggio delle acque sotterranee della Tenuta di Castelporziano è attualmente costituita da 44 piezometri, distribuiti su un territorio di circa 60 km². Il rilevamento periodico del livello freaticometrico, delle diagrafie verticali e delle principali caratteristiche chimico-fisiche delle acque di falda garantiscono un costante controllo quali-quantitativo dell'intero acquifero. La maggiore densità dei punti di

controllo in corrispondenza della fascia costiera e l'utilizzo di sonde automatiche per il rilevamento continuo del livello freaticometrico, temperatura e conducibilità elettrica delle acque di falda, consentono di seguire con estremo dettaglio l'evoluzione temporale e spaziale della dinamica dell'interazione acqua dolce - acqua salata, segnalando tempestivamente l'eventuale verificarsi di locali squilibri su cui, una volta individuata la causa, poter intervenire con le adeguate azioni di mitigazione.

La banca dati dell'Osservatorio centro multidisciplinare per gli Ecosistemi costieri mediterranei, che ha sede nella Tenuta, è depositaria di una serie continua di 14 anni di dati relativi alle acque sotterranee della Tenuta Presidenziale rilevati dalla rete di monitoraggio descritta.

L'analisi dell'intera serie di dati disponibile ha messo in evidenza una condizione di marcata aridità per il biennio 2007-2008, da mettere in relazione alla diminuzione della ricarica meteorica rilevata dalle stazioni meteorologiche della Tenuta. I dati rilevati negli ultimi due anni confermano, infatti, una generalizzata tendenza al progressivo abbassamento della falda, caratterizzata comunque da una ridotta oscillazione stagionale del regime piezometrico.

L'elaborazione e l'interpretazione dei dati raccolti, oltre a ribadire complessivamente un buono stato di conservazione dell'acquifero, ha consentito di individuare due aree, in prossimità della fascia costiera, di potenziale criticità.

La prima situazione, al margine sud-occidentale della Tenuta in località Ponte Fusano, presenta una lieve depressione piezometrica, da mettere in relazione ad una vicina stazione di pompaggio utilizzata per le esigenze della Tenuta. La seconda situazione, rilevata nel settore sud-orientale, in località Pantan di Lauro - Discobolo, presenta valori di conducibilità elettrica elevati rispetto a quelli medi della restante porzione di acquifero. È stato inoltre registrato, fino all'estate del 2007, un aumento della salinità delle acque, associato ad un progressivo abbassamento piezometrico. L'evoluzione attuale del fenomeno mostra una tendenza alla stabilizzazione.

Per meglio caratterizzare le anomalie riscontrate nei due settori dell'acquifero si prevede di integrare la consolidata attività di monitoraggio con l'esecuzione di analisi chimiche delle acque di falda e con la realizzazione di un censimento degli utilizzi delle acque sotterranee sia all'interno della Tenuta che, soprattutto, nelle zone di confine esterno.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bellotti P., Carboni M.G., Milli S., Tortora P., Valeri P., 1989. La piana deltizia del fiume Tevere: analisi di facies e ipotesi evolutiva dall'ultimo low stand glaciale all'attuale. *Giornale di Geologia ser. 3*, vol. 51/1, 71-91.
- [2] Bellotti P., Tortora P., Biagi P.F., Dellamonica G., Ermini A., Grita F., Sgrigna V., Valeri P., 1990. Prospezione geoelettrica nella piana del delta del Tevere. *Bollettino Società Geologica Italiana* 109, 249-258.
- [3] Boni C., Bono P. & Capelli G., 1988. Carta idrogeologica del territorio della Regione Lazio Scala 1:250.000. Regione Lazio - Università degli Studi di Roma "La Sapienza".
- [4] Bucci M., 1996. Seminario Tematico G.d.L. Idrogeologia. Progetto Monitoraggio Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. ENEA Casaccia. Santa Maria di Galeria (Roma) 5 novembre 1996.
- [5] Bucci M. Grillini M., 2001. Studi geologici, geomorfologici ed idrogeologici nella Tenuta Presidenziale di Castelporziano (Roma). *Geologia Tecnica & Ambientale* 4/2001, 21-32.
- [6] Busuoli G., Bucci M., Grillini M., 2001. Studi geologici, geomorfologici ed idrogeologici nella Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Il sistema ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. *Scritti e Documenti XXVI Accademia Nazionale delle Scienze (I)*, 123-155.
- [7] Capelli G. & Mazza R., 2005°. Individuazione dei bacini idrogeologici. Analisi della circolazione idrica sotterranea. In: *Strumenti e strategie per la tutela e l'uso compatibile della risorsa idrica nel Lazio. Gli acquiferi vulcanici. Quaderni di tecniche di protezione ambientale Pitagora Editrice*, 78, 41-80.
- [8] Capelli G. & Mazza R., 2005b. Schema idrogeologico della città di Roma. Gestione della risorsa idrica e del rischio idrogeologico. *La IV DIMENSIONE: lo spazio sotterraneo di Roma Supplemento 4/2005 Geologia dell'Ambiente, SIGEA*, 47-58.
- [9] Capelli G., Mazza R. & Papiccio C., 2007. Intrusione salina nel delta del Fiume Tevere. *Geologia, idrologia e idrogeologia del settore romano della piana costiera. Giornale di Geologia Applicata* 5, 13-28.
- [10] Dragone F., Maino A., Malatesta A., Segre A., 1967. Note illustrative della carta geologica d'Italia Foglio 149 Cerveteri.
- [11] Fricano F., Neri U., Scandella P., Di Blasi N., Mecella G., 2001. Studio del sistema di alimentazione di invasi naturali in un particolare ambiente umido costiero mediterraneo. Il sistema ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. *Scritti e Documenti XXVI Accademia Nazionale delle Scienze (I)*, 99-109.
- [12] Malatesta A. & Zarlenga F., 1986. Evoluzione paleogeografico-strutturale plio-pleistocenica del basso bacino romano a nord e a sud del Tevere. *Memorie Società Geologica Italiana* 35, 75-85.
- [13] Petitta M., 2009. Impatto dell'attività agricola sulla risorsa idrica nella Piana del Fucino (Italia Centrale). *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*. 2 (2009), 59-90.
- [14] Servizio Geologico d'Italia, 1963. Foglio 149 Cerveteri Carta geologica d'Italia alla scala 100.000.

Analisi della sismicità e del campo di sforzo crostale del Lazio centrale: periodo 1997-2008

Abstract – *Analysis of seismicity and stress activities in central Latium area: 1997-2008.* Instrumental seismicity of the central Latium area is analyzed using a large and most recent seismological data-base. Aim of this study is to identify the potential seismogenic structures responsible for the moderate seismicity ($M_L \sim 5.0$) that characterize this sector, where no surface faulting is expected based on the absence of strong local earthquakes ($M_L \sim 7.0$), as evidenced by the 2000 years-long historical record. Seismic data here analyzed belong to the period 1997-2008 and show local magnitude (M_L) ranging from 1.5 to 4.7. To better constrain the hypocentral depths we computed the V_p/V_s ratio using a modified Wadati method and the minimum one-dimensional (1-D) velocity model that approximates the seismic structure of the study area. Moreover, we applied a double-difference (HypoDD) hypocentral determination technique to improve earthquake locations. Most of the located seismicity appears to be concentrated within seven main clusters that are in large part within the 7-15 km depth range. Spatial distribution of the seismicity allowed us to identify several seismogenic structures, corresponding to previously undetected, or only supposed active faults. The stress tensor obtained by inverting the focal mechanisms computed in this study is in agreement with the NE-SW extensional tectonic stress active in the inner chain of the Apennines, although there are evidences of some local stress field heterogeneities. The results of this study were obtained using the data of the National Seismic Array of the INGV and those of two temporary seismic arrays (total of 30 stations) installed in the Alban Hills and in the Prenestini-Tiburtini-Cornicolani Mountains. Among these temporary stations, one was installed in Casale Trafusina within the Tenuta Presidenziale of Castel Porziano, to the south of Rome.

Key words: Rome, central Italy, seismicity, minimum 1-D velocity model, active tectonics, stress field.

Riassunto – La sismicità strumentale dell'area del Lazio centrale, estesa tra la costa tirrenica ed i Monti Simbruini ed Ernici, è stata recentemente studiata grazie ad un copioso database di forme d'onda digitali di eventi sismici registrati nel corso del periodo 1997-2008. Lo scopo di questo lavoro è quello di individuare le possibili sorgenti sismogenetiche capaci

¹ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Via di Vigna Murata, 605 - Roma.

di produrre eventi sismici di intensità moderata (magnitudo locale $M_L \sim 5.0$) che caratterizzano l'area in studio. Questa zona non presenta evidenze di fagliazione superficiale come riscontrato invece, grazie ai dati di paleosismologia, nell'adiacente settore montuoso dell'Appennino centrale, capace di produrre eventi di magnitudo anche fino a 7.0. Anche la sismicità storica attesta per l'area del Lazio centrale l'assenza di eventi forti ($M_L \sim 7.0$) per gli ultimi 2000 anni. La sismicità analizzata in questo lavoro comprende eventi con magnitudo compresa tra 1.5 e 4.7. Per meglio vincolare le profondità ipocentrali abbiamo calcolato il rapporto V_p/V_s usando un metodo Wadati modificato, e il modello di velocità 1-D che meglio approssima la struttura sismica dell'area. Inoltre, per migliorare ulteriormente le localizzazioni ipocentrali, abbiamo utilizzato la tecnica delle doppie-differenze (HypoDD). Gran parte della sismicità analizzata è concentrata all'interno di 7 *clusters* principali con profondità ipocentrali comprese tra 7 e 15 km. Questa distribuzione spaziale dei *clusters* di microsismicità ci ha consentito di individuare nuove potenziali strutture sismogenetiche nell'area del Lazio centrale. L'analisi dell'orientazione del tensore degli sforzi, a partire dall'inversione dei meccanismi focali calcolati in questo lavoro, ci ha consentito di scoprire, all'interno di una estensione generalizzata in direzione NE-SW, la presenza di alcune eterogeneità del campo degli sforzi. I risultati di questo studio scientifico sono stati ottenuti grazie ai dati della Rete Sismica Nazionale dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV, circa 20 stazioni permanenti) e allo schieramento di 30 stazioni sismiche temporanee installate tra la costa laziale ed i Monti Prenestini-Tiburini-Cornicolani. Tra queste vi è anche quella installata in località Casale Trafusina all'interno della Tenuta Presidenziale di Castel Porziano.

Parole chiave: Roma, Italia centrale, sismicità, modello di velocità 1-D, tettonica attiva, campo degli sforzi.

Introduzione

Dall'osservazione della sismicità storica si nota la presenza di eventi con intensità da piccola a moderata che caratterizzano l'area del Lazio comprendente i Colli Albani e la Campagna Romana sino ai monti Simbruini ed Ernici [28, 44, 45]. Di contro, nella porzione più orientale, l'area dell'Appennino centrale appare caratterizzata dalla presenza di forti eventi sismici con danneggiamento fino al X e XI grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) come nel caso dei terremoti del 801 d.C., del 1349 e del 1915 [43]. Per quanto concerne l'area della città di Roma e le sue immediate vicinanze, da un recente studio della sismicità storica dei secoli XIX e XX [66] emerge la presenza di eventi sismici con intensità massima del VII grado MCS corrispondente ad una magnitudo locale equivalente di circa 3.6. Solo a partire dagli ultimi trent'anni è possibile avere una visione più dettagliata della sismicità nell'area in studio grazie alla presenza delle stazioni della Rete Sismica Nazionale dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). I primi lavori che analizzano l'andamento del campo degli sforzi (*stress field*) sulla base dei dati sismometrici sembrano entrare in contraddizione con l'analisi degli indicatori di superficie del campo di stress [31; 38]. Mentre la deformazione tettonica più recente che interessa terreni non più antichi di 30.000 anni, è attribuita all'attività di faglie trascorrenti destre con andamento N-S [15; 16], i meccanismi focali dei

terremoti locali indicano una estensione anti-appenninica (NE-SW) [4; 47] consistente con il campo estensivo regionale e con il relativo vulcanismo della fascia peritirrenica, ma incompatibile con un regime di stress con σ_3 orientato NW-SE associato alla su menzionata tettonica trascorrente. Una diffusa estensione in direzione NE-SW è evidenziata per tutto il settore dell'Appennino centrale a partire dai dati geodetici [30]. Il rateo di deformazione lungo la catena dell'Appennino varia da 2.5 a 5 mm all'anno, mentre nell'area in studio, sul versante tirrenico della penisola, il segnale geodetico è dello stesso ordine di grandezza dell'errore di misura.

Al fine della valutazione del rischio sismico, le informazioni di carattere geologico e geomorfologico non sono sufficienti per poter identificare potenziali strutture sismogenetiche in un'area come quella in studio essendo essa caratterizzata da un medio-basso livello di sismicità, vale a dire con eventi mediamente forti che non producono comunque espressioni di faglia in superficie, è importante prendere in considerazione la sismicità strumentale ed i relativi meccanismi focali.

L'incremento del numero di stazioni sismiche permanenti dell'INGV e l'installazione di due reti sismiche temporanee nel periodo 2005-2008 nell'area in studio, hanno consentito di ottenere una grande quantità di dati sismometrici sotto forma di sismogrammi digitali di alta qualità. Le due reti temporanee hanno interessato l'area dei monti Cornicolani, Tiburtini, Prenestini e Sabini, e l'area dei Colli Albani e zone circostanti. Nel periodo 2006-2007 è stato raggiunto il numero complessivo di 30 siti occupati da stazioni temporanee. In particolare, la stazione sismica del sito posto all'interno della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (Casale Trafusina, sigla AL15) è stato occupato nel periodo che va dall'Aprile del 2006 al Luglio del 2007.

Il substrato geologico nel sito di posizionamento del sismometro a Casale Trafusina è costituito da una successione di depositi piroclastici a carattere pozzolanaceo, da coerenti a semicoerenti, separati da paleosuoli a carattere argilloso-sabbioso e localmente da depositi rimaneggiati, anch'essi di natura piroclastica, per uno spessore complessivo di alcune decine di metri. Si tratta della successione tipica dell'area albana, comprendente dall'alto verso il basso l'unità eruttiva di "Villa Senni" ("Pozzolanelle" e "Tufo Lionato"), le "Pozzolane Nere", le "Pozzolane Rosse" e i "Tufi Pisolitici", con alcune intercalazioni di prodotti di ricaduta del distretto sabatino ("Tufi Terrosi con Pomici Bianche") [31; 42].

Nel periodo analizzato (1997-2008) sono avvenute due scosse di magnitudo (M_L) 4.1 e 4.0 (11 Marzo e 27 Giugno del 2000, rispettivamente), a circa 40 km ad est di Roma, che hanno causato qualche danno e grande spavento tra la popolazione nelle località dei Monti Ruffi, nella media-alta valle dell'Aniene. Nonostante la piccola magnitudo di questi eventi, essi rappresentano storicamente l'intensità massima raggiunta dagli eventi sismici in quest'area. Il nostro studio termina, in senso temporale, con l'analisi della sequenza sismica dei Colli Albani avvenuta nei mesi di Aprile e Maggio del 2008. In occasione di questa sequenza sono stati rioccupati alcuni siti con stazioni temporanee fino al Giugno del 2008.

L'analisi sismologica è stata condotta in tre fasi. Nella prima è stato calcolato il rapporto V_p/V_s utilizzando un metodo Wadati modificato ed è stata applicata la tecnica *VELEST* [32] per trovare il migliore modello 1-D di velocità con le correzioni di stazione. Quella successiva è consistita nell'applicazione del programma di localizzazione Hypoellipse [34] e di quello delle "doppie-differenze" (HypoDD) [69; 70]. Le determinazioni accurate degli ipocentri così ottenute ci hanno consentito di osservare ed identificare in modo più dettagliato i diversi piani di faglia attivi con la loro relativa geometria. Inoltre, abbiamo ottenuto un buon numero di soluzioni focali per poter procedere nell'analisi del campo di sforzo crostale (*stress field*) applicando la tecnica d'inversione sviluppata da *Gephart* (1990) [26].

Assetto strutturale e tettonico dell'area

L'area di Roma e del Lazio centrale è posta ai margini del Mar Tirreno e dell'Appennino centrale (Fig. 1), regioni nelle quali l'evoluzione geodinamica è stata fortemente influenzata dalla sovrapposizione di due maggiori lineamenti tettonici: a) l'allineamento NW-SE di grandi apparati vulcanici sviluppatosi nel Medio Pleistocene lungo il margine tirrenico parallelamente alle grandi faglie estensive della regione di retro-arco formatasi in seguito all'apertura del Bacino Tirrenico [64]. L'attività vulcanica ha interessato l'intervallo temporale che va dagli 800.000 ai 36.000 anni fa [40]; b) allo stesso tempo, l'area romana è stata interessata da un sistema di fagliazione trascorrente N-S definito in letteratura *Sabina Fault Zone* [2, 15, 16]. La *Sabina Fault Zone* si è sviluppata nella porzione retrostante alla linea Olevano-Antrudoco [51] che rappresenta il fronte compressivo più esterno dell'Appennino settentrionale (Fig. 1). La linea Olevano-Antrudoco delimita due porzioni della catena Appenninica, quella settentrionale e quella meridionale, che presentano caratteristiche sismotettoniche differenti [13]. Dalle osservazioni di tomografia tele-sismica [3] si osserva una importante discontinuità litosferica che separa l'Appennino settentrionale da quello meridionale con il primo caratterizzato dalla presenza di una evidente anomalia tomografica ad alta velocità e sismicità subcrostale profonda fino ai 90 km. Questo confine geodinamico (noto in letteratura come Linea Ancona-Anzio) è stato precedentemente considerato come il riflesso di un antico margine paleogeografico tra la piattaforma carbonatica Laziale-Abruzzese Meso-Cenozoica e l'area caratterizzata dalla sequenza pelagica Umbro-Marchigiana.

La zona di taglio con movimenti trascorrenti associata alla *Sabina Fault Zone* si estende nell'area romana fino alla costa tirrenica presso Anzio [16]. Nella zona del bacino delle Acque Albule la deformazione di alcuni canali di un sistema di acquedotti romani del II-III secolo d.C. confermano l'evidenza tettonica di questo movimento compatibile con fagliazione trascorrente destrorsa N-S [20; 41]. Il bacino delle Acque Albule si è evoluto nel medio e tardo Pleistocene e i dislocamenti per fagliazione sembrano essere più giovani di 30.000 anni [19]. Questa evidenza sembra suggerire una contemporaneità tra una attività deformativa trascorrente ed

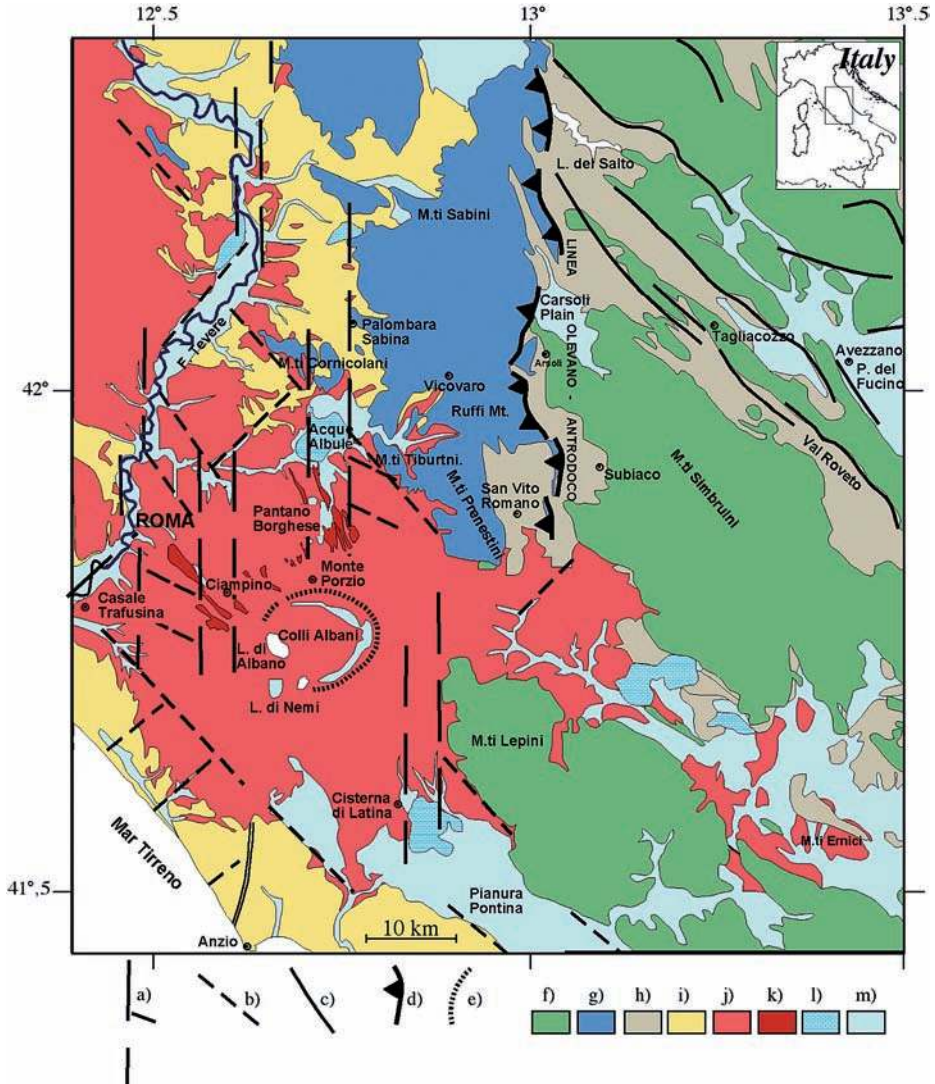


Fig. 1. Inquadramento geologico dell'area in studio (figura modificata da *Accordi et al.* (1986) [1]); a) zone di fagliazione trascorrente [39; 15]; b) faglie normali e trasversali sepolte del margine tirrenico [17]; c) faglie normali attive della catena appenninica [59]; d) faglie inverse; e) margini di caldera; f) calcari Meso-Cenozoici della Piattaforma Carbonatica Laziale-Abruzzese; g) calcari Meso-Cenozoici della successione stratigrafica della Sabina; h) sequenze flyschoidi e complessi alloctoni; i) rocce sedimentarie Plio-Pleistoceniche; j) rocce piroclastiche del Pleistocene medio; k) colate laviche del Pleistocene medio; l) bacini di travertino del Pleistocene superiore-Olocene; m) alluvioni recenti e depositi colluviali. A sinistra, è indicata l'ubicazione della stazione sismica temporanea di Casale Trafusina all'interno della Tenuta Presidenziale di Castelporziano.

una estensiva. Quest'ultima è evidenziata dalla sismicità attuale dell'area dei Colli Albani [4; 5; 47] e dalla piccola sequenza sismica della Cecchignola del Giugno 1995 [7].

In questo studio, partendo da una analisi della sismicità recente, vogliamo risolvere l'apparente incompatibilità della coesistenza dei due regimi di stress trascorrente ed estensivo che caratterizzano l'area romana. La nostra analisi comprende 613 eventi rilocalizzati e 65 meccanismi focali calcolati.

Calcolo del rapporto V_p/V_s e del modello di velocità 1-D. Distribuzione delle rilocalizzazioni ipocentrali

È stata eseguita una accurata rilettura di tutti i tempi d'arrivo delle fasi sismiche P ed S sia della rete nazionale dell'INGV che delle due reti locali temporanee (Fig. 2). Le registrazioni relative alla rete dei Colli Albani hanno come finestra temporale Marzo 2005 – Ottobre 2007, mentre quelle della rete dei Monti Cornicolani-Tiburtini sono del periodo Giugno 2004 – Maggio 2008. Le 23 stazioni della rete dei Colli Albani hanno avuto come sensori i *Lennartz-5s* a tre componenti ed hanno registrato in modalità continua a 125 campioni al secondo. Le 7 stazioni dei Cornicolani-Tiburtini, installate in 14 siti differenti, hanno lavorato con sensori *Lennartz-1s* e *Lennartz-5s* con registrazione in continuo a 125 campioni al secondo.

Abbiamo completato un catalogo di 613 eventi sismici locali con magnitudo da 1.5 a 4.7 (M_L). La maggior parte degli eventi registrati appartengono al periodo 2005-2008. In totale sono state riviste 7391 fasi P e 4733 fasi S di terremoti locali. Ad ogni lettura dei tempi d'arrivo è stato dato un peso a seconda della bontà della lettura. Abbiamo applicato una tecnica modificata del metodo Wadati [8; 56] per il calcolo del rapporto V_p/V_s valido per l'area in studio. Abbiamo ottenuto un rapporto pari a 1.85 con il 95% di limite di confidenza, un errore di 0.03 nello scarto quadratico medio e un coefficiente di correlazione lineare di 0.95. Il rapporto V_p/V_s ottenuto è relativamente alto ed è indicante una alta fatturazione dell'area in studio causata dai principali sistemi di faglia [25; 54]. Al fine di ottenere le migliori localizzazioni ipocentrali, è stato utilizzato il programma di calcolo *VELEST* [32] sia per il calcolo del migliore modello di velocità crostale 1-D per l'area in studio che delle correzioni di stazione. La procedura di *VELEST* è stata utilizzata partendo dal modello di velocità già noto in letteratura e valido per l'Appennino centrale calcolato da *Chiarabba e Frepoli*, (1997) [9]. In questa procedura sono state utilizzate solo fasi relative a stazioni non più lontane di 250 km dall'epicentro. A partire dal nuovo modello di velocità ottenuto, sono stati rilocalizzati i 487 migliori eventi sui 613 iniziali (localizzazioni con qualità A e B, 79.4% del totale) utilizzando il programma *Hypoellipse* [34]. Lo scarto quadratico medio dei residui delle localizzazioni così ottenute è di 0.31.

Successivamente, al gruppo di 487 eventi è stato applicato l'algoritmo delle "doppie-differenze" (*HypoDD*) [69; 70]. Questo tipo di rilocalizzazione può essere

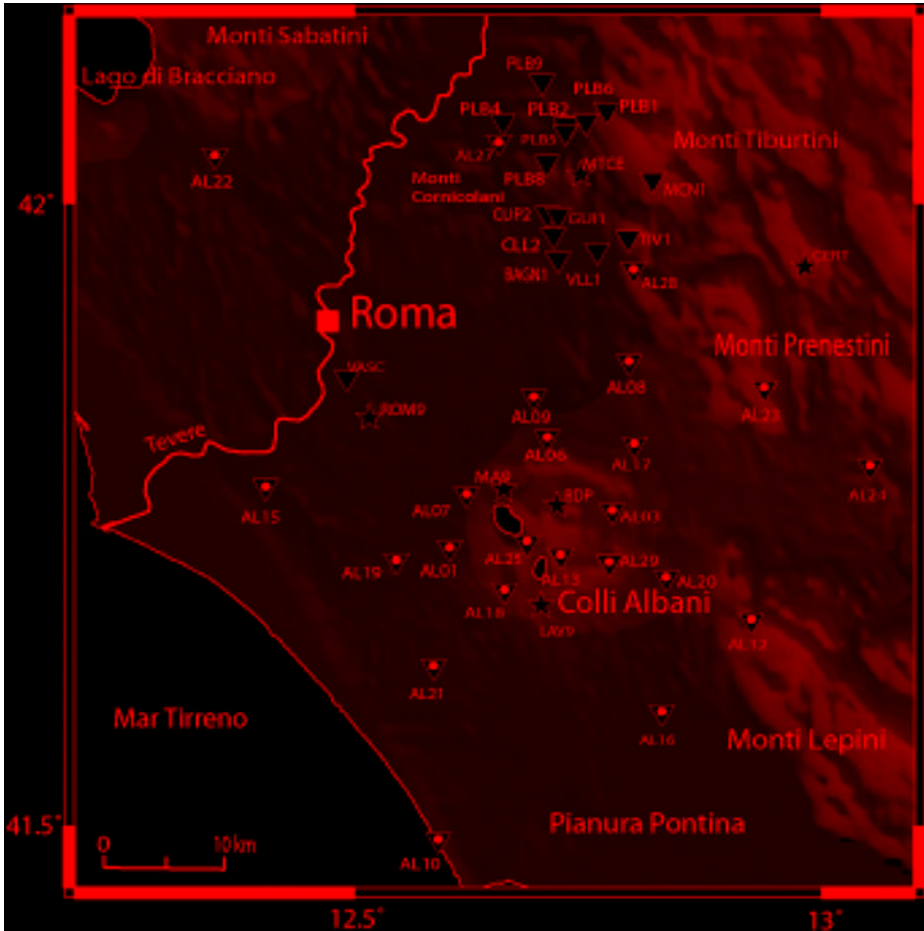


Fig. 2. Distribuzione delle stazioni sismiche temporanee (triangoli rovesciati con puntino nero) del progetto Colli Albani, delle stazioni del progetto Monti Cornicolani-Tiburtini-Prenestini (triangoli rovesciati bianchi) e delle stazioni della rete nazionale permanente dell'INGV (stelle). Con la sigla AL15 è indicata la stazione sismica posta all'interno della Tenuta Presidenziale in località Casale Trafusina (figura modificata da *Frepoli et al.*, 2010 [24]).

applicata solo in situazioni di *cluster*, cioè di eventi molti vicini tra di loro che quindi hanno distanze sorgente-ricevitore molto più grandi delle distanze ipocentrali delle singole coppie di eventi presi di volta in volta in considerazione. Per questo i raggi sismici dei due eventi della coppia che giungono al medesimo ricevitore sono molto simili e la loro piccola differenza è solamente legata alla loro distanza ipocentrale [21; 27; 49]. Dalla procedura delle “doppie-differenze” sono state ottenute le migliori rilocalizzazioni che consistono in 315 eventi, quasi tutti eventi appartenenti ai 7 principali *clusters* di sismicità dell'area in studio (Fig. 3).

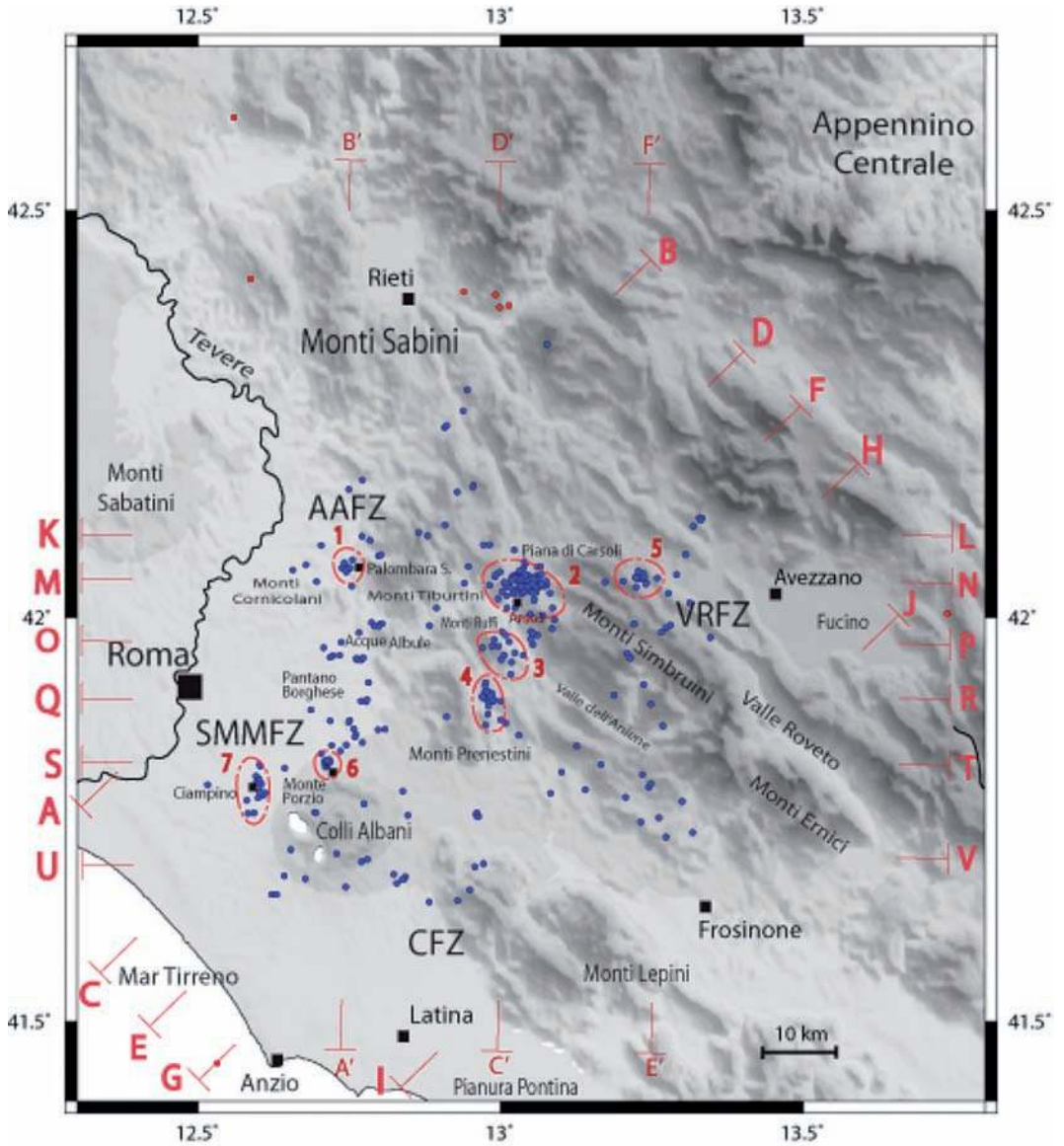


Fig. 3. Distribuzione degli epicentri della sismicità del Lazio centrale registrata nel periodo 1997-2008 e relativi *clusters* di sismicità numerati da 1 a 7. In rosso sono riportati i punti estremi delle sezioni sismiche di Fig. 4 (figura modificata da *Frepoli et al., 2010 [24]*). AFZ, *Arsoli fault zone*; AAFZ, *Acque Albule fault zone*; SMMFZ, *Santa Maria delle Mole fault zone*; CFZ, *Cisterna di Latina fault zone*; SVFZ, *San Vito Romano fault zone*; VRFZ, *Val Roveto fault zone*.

La maggior parte di questi eventi hanno profondità ipocentrali comprese tra i 7 ed i 15 km e sono concentrati, per l'appunto, in 7 *clusters* principali (Fig. 3 e 4): 1) Palombara Sabina, 2) Arsoli, 3) Monti Ruffi, 4) San Vito Romano, 5) Val Roveto superiore, 6) Monte Porzio, 7) Ciampino.

Buona parte della microsismicità studiata è concentrata nell'area delle Acque Albule e di Pantano Borghese, ad est di Roma. La rimanente sismicità, cioè quella non inclusa nei *clusters*, è diffusa nel settore a sud e a sud-est dei Colli Albani, nei Monti della Sabina, nella Valle superiore dell'Aniene e sui Monti Simbruini-Ernici. È da notare, tenendo conto del periodo temporale preso in esame (1997-2008), l'assenza di sismicità sia nell'area ad ovest di Roma che nell'area della Pianura Pontina. Solo l'evento del 22 Agosto 2005 (M_L 4.7) e le sue piccole repliche, localizzate a largo di Anzio in mare (~ 7 km dalla costa), mostrano l'esistenza comunque di una certa sismicità nell'area a sud di Roma. Considerando la profondità ipocentrale di questo evento (~ 21 km) e la grande estensione dell'area di risentimento macrosismico, esso è molto simile come localizzazione a quello avvenuto nel 1919 sempre in una regione *offshore* di Anzio (intensità VII MCS, M_W stimata tra 4.5 e 4.8) [67].

Il *cluster* di Arsoli (2) è quello che contiene il maggior numero di eventi ed ha una estensione maggiore rispetto agli altri. Questo *cluster* evidenzia un piano immergente verso il Tirreno (SW) con un angolo di inclinazione di circa 70° e con una estensione in profondità che va dai 1 ai 21 km (sezioni CD e MN, Fig. 4). Insieme al *cluster* di Palombara Sabina (1), la parte superiore del *cluster* di Arsoli (2) presenta il numero maggiore di eventi superficiali (profondità comprese tra i 1 ed i 4 km) di tutto il dataset (sezioni AB, KL e MN, Fig. 4). Direttamente a sud del *cluster* di Arsoli (2) abbiamo due *clusters* (3 e 4) in cui la sismicità si delinea in un andamento sub-verticale (sezioni EF, OP e QR, fig. 4). In questi *clusters* la profondità si estende dai 3 ai 21 km. La porzione superiore della Val Roveto è caratterizzata da un *cluster* (5) che delinea un andamento sub-verticale della microsismicità con profondità ipocentrali comprese tra i 8 ed i 19 km (sezioni EF, MN, Fig. 4). L'area dei Colli Albani è caratterizzata dai due *clusters* di Monte Porzio (6) e di Ciampino (7). Il primo presenta una estensione ipocentrale dai 11 ai 14 km, mentre il secondo ha profondità compresa tra i 7 ed i 11 km (sezioni CD, ST, Fig. 4).

Determinazione del campo di sforzo crostale nel Lazio centrale

Sono state calcolate in totale 92 soluzioni focali con le polarità dei primi arrivi (fasi *P*) utilizzando la procedura *FPFIT* [57]. Seguendo la selezione indicata dalla stessa procedura *FPFIT*, abbiamo ottenuto 65 meccanismi focali di buona qualità. La maggior parte di queste soluzioni focali (circa il 71% dell'intero dataset) è concentrata nell'area dei Colli Albani e nella regione compresa tra i Monti Cornicolani ed i Simbruini. Dalla sequenza di Monte Porzio (Gennaio-Marzo 2006), la più importante avvenuta nell'area dei Colli Albani durante il periodo in studio, sono state ottenute ben 16 soluzioni focali, mentre dalla regione compresa tra la Piana

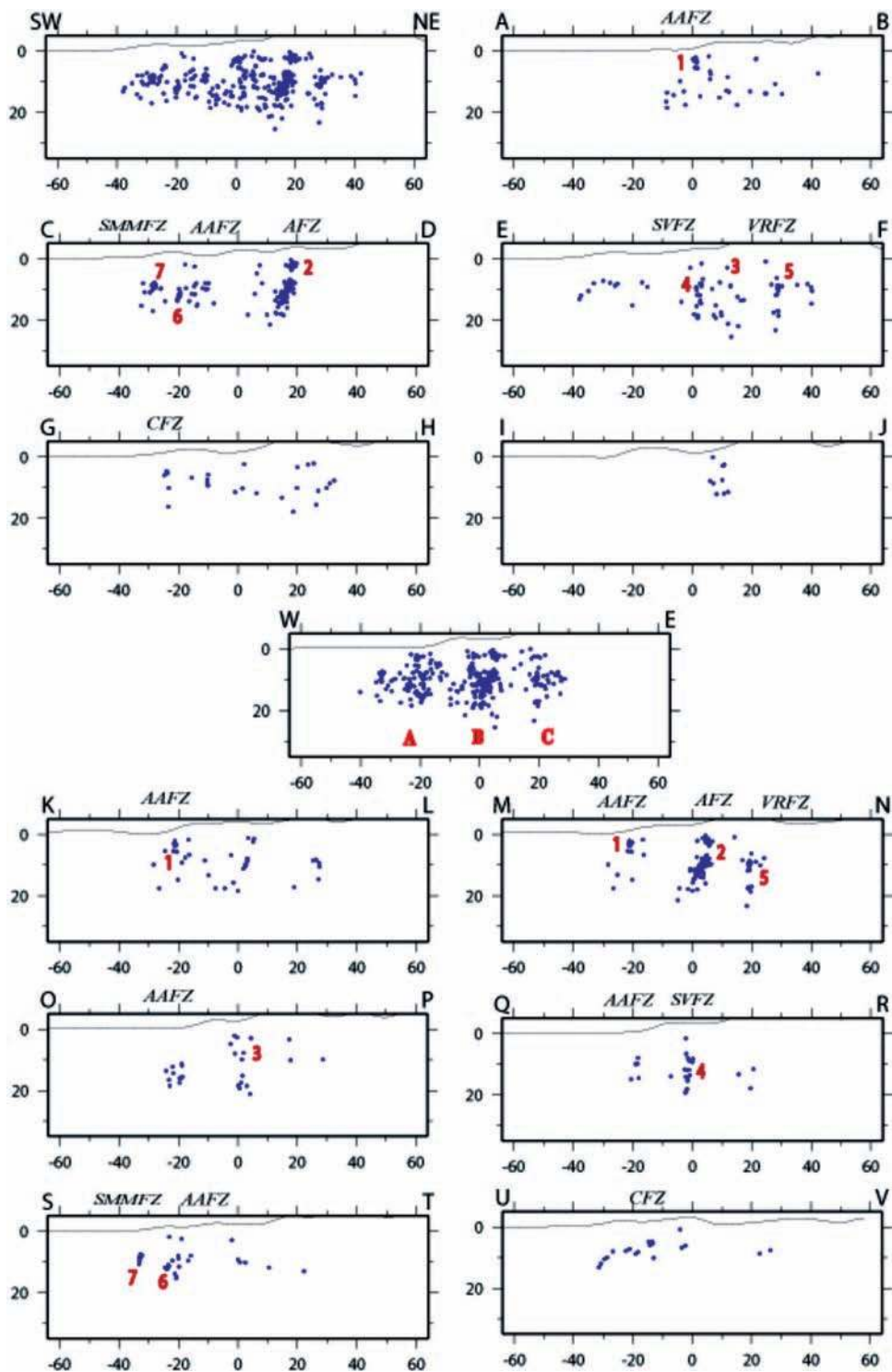


Fig. 4. Sezioni con la distribuzione degli ipocentri della sismicità del Lazio centrale registrata nel periodo 1997-2008. La posizione e l'orientazione delle singole sezioni è indicata nella mappa di Fig. 3 (figura modificata da *Frepoli et al.*, 2010 [24]). Per la nomenclatura delle zone di faglia vedi Fig. 3.

del Fucino, i Monti Simbruini, i Monti Sabini e la Campagna Romana sono stati ottenuti 18 meccanismi focali.

Nel complesso, l'orientazione degli assi T delle soluzioni focali indicano una direzione NE-SW di estensione, compatibile con quella già osservata per la catena appenninica. Una buona parte dei meccanismi focali (34) sono di tipo normale (estensione pura o con piccola componente trascorrente [*strike-slip*]), mentre 20 soluzioni sono di tipo trascorrente e solo due sono di tipo compressivo (evento dei Monti Ruffi del 27 Giugno 2000; evento dei Colli Albani del 27 Luglio 2005). Ben 9 meccanismi focali sono di tipo indeterminato, cioè con assi P e T obliqui (plunge $\sim 45^\circ$) [72].

Il meccanismo focale dell'evento di Anzio del 22 Agosto 2005 è di tipo trascorrente con asse T in direzione ESE-WNW, indicante un brusco cambiamento dello stress crostale tra l'area *offshore* tirrenica e il territorio interno del Lazio centrale. Questa soluzione focale calcolata con i primi arrivi delle onde P è molto simile a quella ottenuta da *Pondrelli et al.* (2006) [55] con il metodo *quick-regional centroid moment tensor* (vedi catalogo INGV delle soluzioni RCMT [55]).

Abbiamo applicato la tecnica d'inversione delle soluzioni focali per la determinazione del campo di sforzo crostale implementata da *Gephart* (1990) [26]. Essa consente di avere informazioni circa l'orientazione del tensore di stress, quindi dei suoi tre principali assi (σ_1 , σ_2 , σ_3) e la loro grandezza relativa tramite il parametro R :

$$R = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\sigma_3 - \sigma_1)$$

La tecnica consiste nel trovare l'orientazione del campo di stress migliore che minimizza la discrepanza (*misfit*) tra i dati, cioè i piani nodali delle soluzioni focali, e la direzione dello sforzo di taglio su di essi determinato dall'orientazione del tensore di stress.

L'area in studio è stata suddivisa in settori contenenti diversi raggruppamenti di meccanismi focali. Il settore più esteso è quello relativo alla catena appenninica (Monti Sabini, Simbruini, Ruffi, ed Ernici) con 18 soluzioni focali. Il risultato dell'inversione in questo settore ha prodotto un *misfit* medio di 5.5° con una orientazione dell'asse σ_3 (asse di minima compressione del tensore di stress) in direzione NNE-SSW (regime estensivo in direzione anti-appenninica), in accordo con ciò che è stato trovato da *Frepoli e Amato* (1997) [23] per la catena montuosa dell'Appennino centrale e settentrionale.

L'area circoscritta ai Colli Albani, Monti Cornicolani e Tiburtini-Preneestini contiene 46 soluzioni focali. L'inversione per il campo di stress in questa area ha prodotto come risultato un *misfit* medio di 7.8° e una σ_3 orientato in direzione NE-SW (regime di stress estensivo). Il relativamente alto valore del *misfit* medio ci porta a considerare quest'area come caratterizzata da una certa eterogeneità nel campo di stress [71]. Di conseguenza abbiamo suddiviso l'area in due sotto-aree: 1) Colli Albani con 11 soluzioni focali, 2) Monti Cornicolani, Tiburtini-Preneestini e

settore di Monte Porzio con un totale di 35 meccanismi focali. Le due ulteriori inversioni per queste due sotto-aree ci hanno consentito di trovare un regime di stress estensivo che caratterizza l'area dei Cornicolani-Tiburtini-Preneštini (σ_3 orientato NE-SW con *misfit* medio 6.8°). Il relativamente alto valore di *misfit* è indicativo della zona di transizione dal regime di stress estensivo in catena a quello trascorrente dei Colli Albani. Infatti, l'inversione delle 11 soluzioni focali dei Colli Albani ha portato alla determinazione di un regime di stress trascorrente caratterizzato da un σ_1 orientato NW-SE e un σ_3 orientato NE-SW entrambi sub-orizzontali, con *misfit* medio 3.7° .

Tra il 12 ed il 15 Aprile del 2008 vi è stata una piccola sequenza sismica nell'area presso Ciampino con un evento di magnitudo (M_L) 3.7 seguito da 13 repliche con magnitudo compresa tra 1.1 e 2.2. Nell'occasione sono stati rioccupati i siti delle stazioni AL01 e AL09 abbandonati l'anno precedente. Successivamente, il 19 Giugno 2008, sono stati registrati alcuni eventi nell'area di Pantano Borghese e Lunghezza (E-NE di Roma) con magnitudo tra 1.9 e 2.2. A tutti questi eventi del 2008 è stata applicata la tecnica di rilocalizzazione delle "doppie-differenze" (HypoDD) che ha consentito di determinare le profondità ipocentrali comprese tra 7.5 e 11 km per la sequenza di Ciampino e di circa 10 km per quella di Pantano Borghese-Lunghezza. Il *cluster* della sequenza di Ciampino è caratterizzata da un andamento sub-verticale con meccanismi focali trascorrenti sinistrorsi.

Discussione e conclusioni

Osservando la sismicità sia in mappa (Fig. 3) che in una sezione E-W (Fig. 4) che attraversa l'intera area in studio, questa appare suddivisa in tre fasce allungate in direzione N-S (A, B e C, Fig. 4, sezione E-W) con zone intermedie in cui il numero di ipocentri è molto scarso. Sono riconoscibili quattro maggiori *clusters* di sismicità (2-3-4-5, Fig. 3) nella porzione appenninica studiata in questo lavoro. I *clusters* 2, 3 e 4 sono allineati lungo la linea Olevano-Antrodoco in direzione N-S. Sembra non esserci una diretta relazione con questo allineamento (un fronte *thrust* sub-orizzontale e molto superficiale [61; 14]) poiché la sismicità attuale si manifesta con meccanismi di tipo estensivo. Il *cluster* di sismicità più esteso (2, zona di Arsoli) è localizzato in corrispondenza di un settore geologicamente complesso dove la continuità della Linea Olevano-Antrodoco è interrotta da un bacino intramontano del Pleistocene medio (piana di Carsoli). Non sono stati fino ad ora individuate evidenze superficiali della faglia attiva individuata dal *cluster* di Arsoli (*Arsoli Fault Zone*, AFZ) che presenta una immersione verso SW con circa 70° di immersione. Un minore *cluster* di sismicità (3) è stato individuato immediatamente a sud di quello di Arsoli e presenta un andamento sub-verticale con profondità ipocentrali tra i 7 ed i 20 km. Questo andamento della sismicità è molto simile a quello associato al settore delle Acque Albule (*Acque Albule Fault Zone*, AAFZ) più spostato ad ovest. Ancora più a sud vi è il *cluster* di San Vito Romano (4) (*San Vito*

Romano Fault Zone, SVFZ) anch'esso caratterizzato da un andamento sub-verticale degli ipocentri che giungono sino ai 20 km di profondità. Anche in questo caso non sono evidenti fagliazioni superficiali in letteratura associate a questo *cluster*. Di contro, il *cluster 5* nell'Alta Valle Roveto si accoppia perfettamente con le evidenze superficiali della *Val Roveto Fault Zone* (VRFZ), un lineamento tettonico con andamento NW-SE sinistrorso generato da un regime compressivo che ha interessato l'Appennino centrale sin dal Messiniano [51; 46]. Analisi cinematiche hanno evidenziato la riattivazione di diversi segmenti di faglie *thrust* durante il medio Pleistocene con movimento *dip-slip* estensivo [46; 59]. L'accordo tra le soluzioni focali calcolate in questo lavoro e l'andamento in profondità del *cluster 5* con la riattivazione di questi segmenti di fagliazione *thrust* concordano con l'attuale regime di stress estensivo che caratterizza tutta la catena appenninica centrale. Più ad ovest il *cluster 1* (zona di Palombara Sabina), posto al margine della zona di transizione tra la fascia peri-tirrenica e la catena, presenta un leggero allungamento N-S molto simile a quello osservato per la zona delle Acque Albule (*Acque Albule Fault Zone*, AAFZ).

La fascia peri-tirrenica del Lazio centrale è caratterizzata dall'apparato vulcanico dei Colli Albani, noto in letteratura come Vulcano Laziale. In questo settore la sismicità analizzata del periodo 1997-2008 appare concentrata lungo allineamenti N-S che ci consentono di identificare tre principali strutture sismogenetiche: la *Santa Maria delle Mole Fault Zone* (SMMFZ), la *Acque Albule Fault Zone* (AAFZ) e la *Monte Porzio Fault Zone* (MPFZ). Questa analisi sismologica è in accordo con le evidenze geomorfologiche osservate nel lavoro di Marra (2001) [39]. Un rilevante contributo a queste identificazioni è stato dato dalle sequenze sismiche di Ciampino del 12-15 Aprile 2008 e di Monte Porzio del 4-8 Gennaio 2006. Nella porzione più orientale dei Colli Albani studi precedenti hanno individuato una zona di fagliazione definita come *Cisterna di Latina Fault Zone* (CFZ) [15; 39] la quale appare comunque caratterizzata da una sismicità non molto diffusa, concentrata in un piccolo *cluster* ad andamento sub-verticale.

L'evento del 22 Agosto del 2005, localizzato in mare a 7 km dalla costa di Anzio, con magnitudo (M_I) 4.7 e 21 km di profondità ipocentrale, è stato l'evento più forte di tutto il dataset. Il suo meccanismo focale trascorrente indica un regime transpressivo NNE-SSW al margine della zona in estensione della catena appenninica. Il carattere transpressivo di questo evento è coerente con il prolungamento verso sud della zona con movimento trascorrente destro N-S individuata da Facenna et al. (1994a) [15]. Comunque, la presenza di poche repliche di bassa energia per questo evento non ci ha consentito di discriminare tra i due piani nodali mediante l'osservazione della loro distribuzione ipocentrale.

La sismicità di Ciampino e di Monte Porzio studiata in questo lavoro ci ha consentito di individuare due possibili sorgenti sismogenetiche prossime all'area cittadina di Roma, anche se questa è comunque interessata da un rateo di deformazione crostale molto basso. Recenti studi sul controllo strutturale del reticolo idrografico olocenico all'interno dell'area romana e l'analisi statistica delle direzioni

dei canali fluviali ed il loro confronto con i dati di geologia strutturale, hanno consentito di individuare la direzione di potenziali faglie sismogenetiche [11; 33; 39]. La recente e moderata sismicità osservata rappresenta la prima evidenza di carattere sismologico di deformazione lungo queste strutture. Anche la sequenza sismica della Cecchignola del Giugno 1995 [7] evidenzia questa fagliazione normale con strike N110° e movimento trascorrente destro intervallata da strette fasce di fagliazione N-S con movimento sinistrorso (*Santa Maria delle Mole Fault Zone*, SSMFZ; *Acque Albule Fault Zone*, AAFZ) che caratterizzano tutta l'area ad est di Roma. Questi sistemi di faglie sono attualmente riattivati da un regime di stress con estensione NE-SW.

L'attuale campo di stress di tipo estensivo che interessa l'area romana, evidenziato grazie allo studio sismologico condotto in questo lavoro, è in contrasto con il dato di un regime di stress transpressivo con σ_1 in direzione NE-SW evidenziato dalla deformazione di un acquedotto romano del II-III secolo d.C. [41]. È quindi plausibile che l'area romana sia stata sottoposta in tempi recenti (a partire dal 300 d.C.) ad un cambiamento del regime di stress, da transpressivo ad estensivo. È anche noto che il comportamento eruttivo del distretto vulcanico dei Colli Albani durante gli ultimi 600.000 anni è stato interpretato come fortemente influenzato dalla sovrapposizione di due regimi di stress tra loro competitivi [31; 50; 39; 40; 42].

Per chiarire il quadro geodinamico dell'area vogliamo qui elencare il contributo dei tre meccanismi di deformazione come è stato già proposto da *Faccenna et al.* (1996) [18]: a) l'accorciamento crostale in direzione N-S dovuto alla convergenza tra placche africana ed euro-asiatica [65]; b) lo sprofondamento della placca ionica con la conseguente migrazione verso est dell'arco appenninico e la formazione di un bacino di retro-arco nel Mar Tirreno [36; 52]; c) l'allargamento o estensione per effetto gravitazionale a causa dell'ispessimento crostale della catena appenninica [58; 29]. Tutti questi meccanismi sono attivi nell'Appennino settentrionale sulla base di evidenze sismologiche e di indicatori di stress [62; 3; 23; 37; 35; 48]. Inoltre, l'assottigliamento crostale indotto dal regime di stress estensivo e dalla risalita di materiale astenosferico, ha prodotto il vulcanismo della fascia peritirrenica caratteristica della zona di retro-arco [63]. È fondamentale ancora ricordare che l'area di Roma ed i Colli Albani sono posti al margine sud-est della Provincia Magmatica laziale [64] e che non vi è stata attività vulcanica nell'area compresa tra Roma e la linea Ortona-Roccamonfina, la quale è considerata come un confine geodinamico tra l'Appennino settentrionale e quello meridionale [53]. In accordo con *Marra* (1999) [38] e *Marra* (2001) [39], noi interpretiamo la zona di taglio con movimenti trascorrenti della Sabina (*Sabina Shear Zone*, SSZ) come parte del confine settentrionale di un'area di svincolo crostale. Sulla base della sua vicinanza con la SSZ, in accordo con le numerose evidenze superficiali cinematiche di fagliazione [15; 16; 39; 41] e con il carattere eruttivo peculiare del distretto vulcanico dei Colli Albani [42], noi riteniamo che il regime di stress transpressivo sia stato quello predominante in questa regione durante il Quaternario (Fig. 5) e che

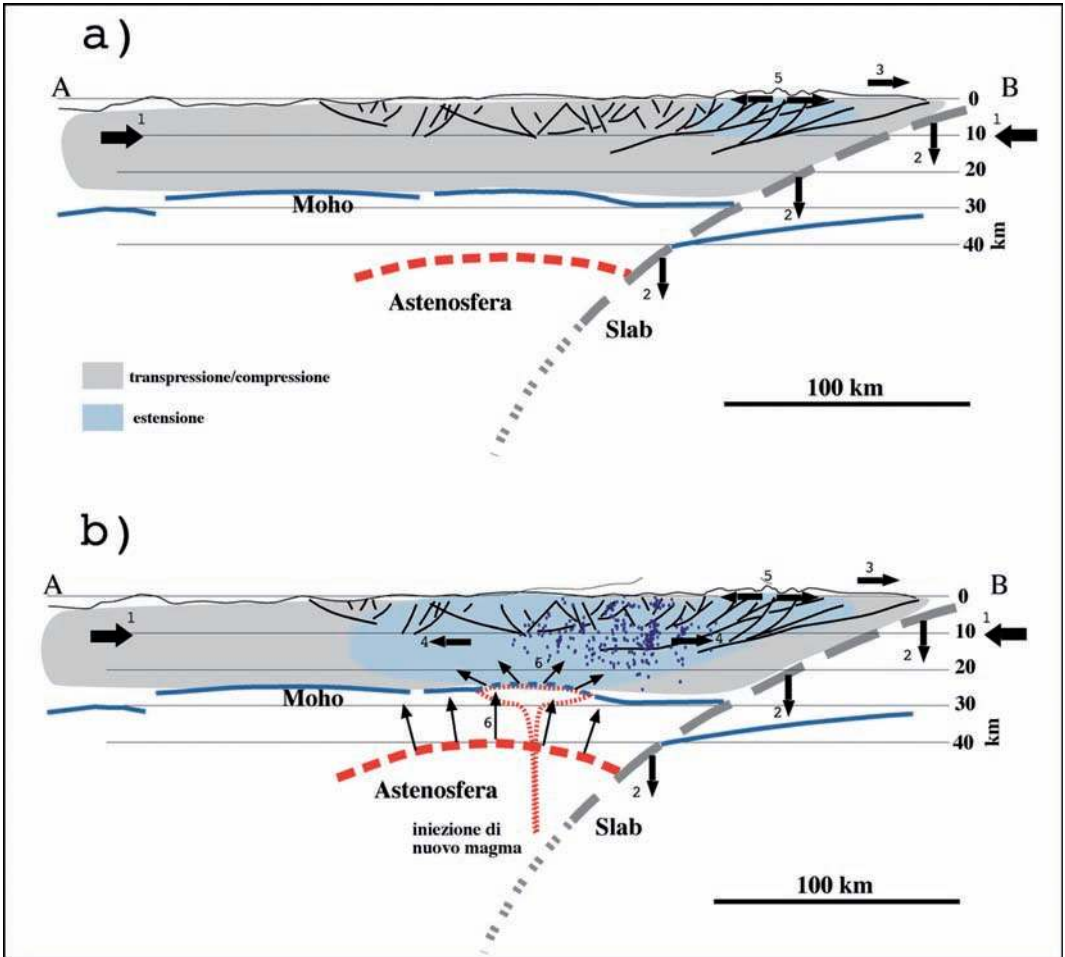
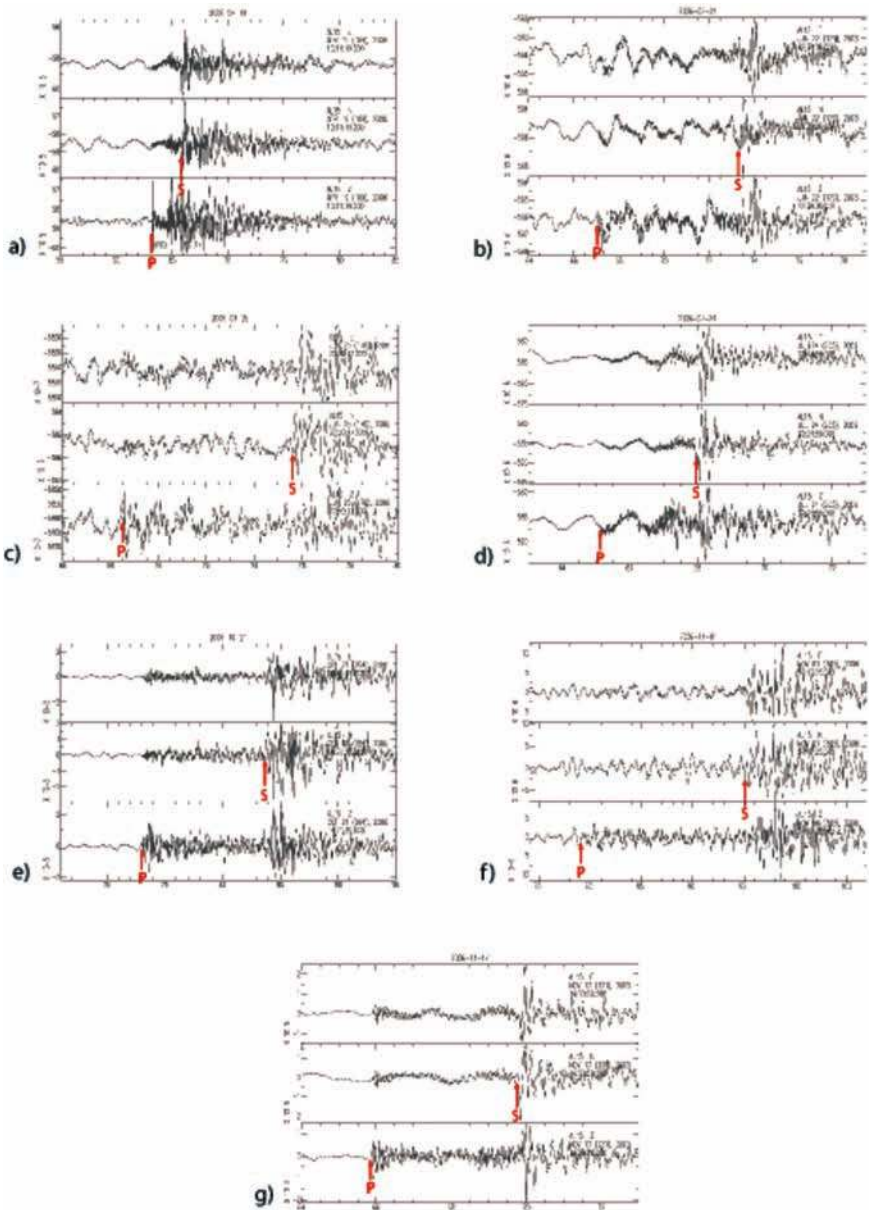


Fig. 5. Sezione interpretativa della geodinamica del Lazio centrale con l'evidenza di due fasi competitive del campo di stress: a) fase transpressiva; b) fase estensiva. In blu è rappresentata la sismicità registrata nel periodo 1997-2008, mentre in rosso sono indicati gli eventi che presentano meccanismo focale con asse P orientato in direzione anti-appenninica (figura modificata da Frepoli et al., 2010 [24]).

ad esso si sovrappone temporaneamente un regime di stress estensivo coincidente con la ripresa dei periodi di attività vulcanica lungo il margine tirrenico. La ripresa dell'attività estensiva con la sismicità relativa indotta sembra essere connessa con la risalita di materiale astenosferico e con l'aumento di fluidi in sovrappressione nella sottostante crosta [10; 68]. Tutto ciò, come si è visto, si sovrappone al campo di stress transpressivo. Se questa ipotesi è corretta, il periodo presente appare quindi caratterizzato da una ripresa dell'attività vulcanica e dell'attività estensiva crostale.

Infatti, l'attuale rigonfiamento del settore calderico dei Colli Albani [6] e l'associata sismicità degli anni 1989-1990 [4] sono stati interpretati come evidenze di un rigonfiamento per risalita di magma dall'astenosfera [60]. Inoltre, il tempo trascorso dalla fine dell'ultimo ciclo eruttivo del Colli Albani (circa 40.000 anni [22]) è dello stesso ordine di grandezza del periodo medio di ricorrenza dell'attività vulcanica per l'intero periodo di esistenza di questo distretto vulcanico [40]. Ciò avvalorava l'ipotesi di una ricarica della camera magmatica nel periodo presente. La presenza di un meccanismo focale *strike-slip* con asse *P* in direzione antiappenninica ai margini meridionali della zona in estensione (vedi evento di Anzio del 2005) avvalorava l'ipotesi di un campo di stress estensivo che si è recentemente impostato su un volume crostale normalmente caratterizzato da fagliazione di tipo transpressivo. La sequenza di Ciampino dell'Aprile 2008, caratterizzata da soluzioni focali di tipo *strike-slip* sinistrorso (asse *T* antiappenninico), sembra quindi essere influenzata dal nuovo regime di tipo estensivo che caratterizza l'intera zona di taglio della SSZ.

In conclusione, questa analisi dettagliata della sismicità recente nell'area romana ci ha consentito di migliorare le nostre conoscenze ai fini delle valutazioni sul rischio sismico. Roma, sulla base di approfondite valutazioni macrosismiche [12], è nota per l'alta concentrazione di monumenti storici spesso situati in aree caratterizzate da amplificazioni di sito (sedimenti alluvionali e materiali di riporto olocenici) e per l'alta vulnerabilità in generale (alta densità abitativa). Per questo motivo, la conoscenza di strutture sismogenetiche capaci di produrre eventi con magnitudo (M_I) fino a 5.0 (magnitudo massima attesa a partire dalla sismicità storica), individuate dall'analisi dettagliata della microsismicità, è fondamentale per arrivare ad una corretta valutazione del rischio sismico dell'area in studio. I risultati di questo lavoro, ottenuti attraverso l'analisi della sismicità e dei meccanismi focali, hanno consentito anche di gettare nuova luce sul cambiamento di regime di stress che caratterizza la zona di fagliazione transpressiva della Sabina e del Lazio centrale con la riattivazione di strutture orientate N-S pre-esistenti. In particolare, grazie alle tecniche d'inversione delle soluzioni focali, è stato possibile osservare il passaggio da un regime di stress attivo puramente estensivo in catena, ad un regime transtensivo nell'area del distretto vulcanico dei Colli Albani. Infine, il comportamento eruttivo negli ultimi 600.000 anni dei Colli Albani, è interpretabile alla luce dei nuovi dati, come fortemente influenzato dalla alternanza periodica di due regimi di stress tra loro competitivi (transpressivo ed estensivo). Riteniamo comunque che il regime di stress transpressivo abbia avuto un ruolo predominante nell'area in studio nell'ultimo milione di anni.



Appendice. Esempi di sismogrammi di eventi registrati dalla stazione sismica installata presso Casale Trafusina (sigla AL15, Tenuta Presidenziale di Castelporziano): a) evento del 19 Aprile 2006, ore 10:11, M_L 1.9, localizzato presso Santa Maria delle Mole (Appia Antica); b) evento del 22 Giugno 2006, ore 22:39, M_L 1.4, localizzato nell'area dei Monti Cornicolani; c) evento del 25 Luglio 2006, ore 20:50, M_L 1.5, localizzato nell'area dei Monti Cornicolani; d) evento del 24 Luglio 2006, ore 20:24, M_L 1.1, localizzato nell'area di Ciampino; e) evento del 21 Ottobre 2006, ore 14:21, M_L 3.0, localizzato presso la Valle del Salto (Provincia di Rieti); f) evento del 01 Novembre 2006, ore 07:17, M_L 3.0, localizzato nell'area dei Monti Reatini (Provincia di Rieti); g) evento del 17 Novembre 2006, ore 16:50, M_L 2.0, localizzato presso Campoleone (Aprilia). Ogni sensore è formato da tre componenti che oscillano ortogonalmente tra di loro. Il sismogramma in alto è quello relativo alla componente orizzontale con oscillazione in direzione E-W, quello centrale alla componente orizzontale N-S, e quello in basso alla componente verticale. Sul sismogramma della componente verticale si osserva l'arrivo della fase P, mentre sulle due componenti orizzontali quello della fase S, come indicato dalle frecce rosse.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Accordi, G., F. Carbone, G. Civitelli, L. Corda, D. De Rita, D. Esu, R. Funicello, T. Kotsakis, G. Mariotti, A. Sposato, 1986. Lithofacies map of Latium-Abruzzi and neighbouring areas. Progetto Finalizzato Geodinamica, Sottoprogetto 4, CNR, Roma.
- [2] Alfonsi, L., R. Funicello, M. Mattei, O. Girotti, A. Maiorani, M. Preite Martinez, C. Trudu, B. Turi, 1991. Structural and geochemical features of the Sabina strike-slip fault (Central Apennines), *Boll. Soc. Geol. It.*, 110, 217-230.
- [3] Amato, A., B. Alessandrini, G.B. Cimini, A. Frepoli, G. Selvaggi, 1993. Active and remnant subducted slabs beneath Italy: evidence from seismic tomography and seismicity, *Ann. Geofis.*, 36 (2), 201-214.
- [4] Amato, A., C. Chiarabba, M. Cocco, M. Di Bona, G. Selvaggi, 1994. The 1989-1990 seismic swarm in the Alban Hills volcanic area, central Italy, *Jour. of Volc. and Geoth. Res.*, 61, 225-237.
- [5] Amato, A., C. Chiarabba, 1995a. Earthquake occurrence and crustal structure, in "The Volcano of the Alban Hills", special issue edited by R. Trigila, Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Roma, 193-211.
- [6] Amato, A., C. Chiarabba, 1995b. Recent uplift of the Alban Hills Volcano (Italy): evidence of magmatic inflation?, *Geophys. Res. Lett.*, 22 (15), 1985-1988.
- [7] Basili, A., L. Cantore, M. Cocco, A. Frepoli, L. Margheriti, C. Nostro, G. Selvaggi, 1996. The June 12, 1995 microearthquake sequence in the city of Rome, *Ann. di Geofisica*, 39 (6), 1167-1175.
- [8] Chatelain, J.L., 1978. Etude fine de la sismicité en zone de collision continentale à l'aide d'un réseau de stations portables: la région Hindu-Kush-Pamir. Thèse de 3^{ème} cycle, Univ. Paul Sabatier, Toulouse.
- [9] Chiarabba, C., A. Frepoli, 1997. Minimum 1D velocity models in Central and Southern Italy: a contribution to better constrain hypocentral determinations, *Ann. Geofis.*, XL (4), 937-954.
- [10] Chiodini, G., C. Cardellini, A. Amato, E. Boschi, S. Caliro, F. Frondini, G. Ventura, 2004. Carbon dioxide Earth degassing and seismogenesis in central and southern Italy, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L07615. doi: 10.1029/2004GL019480.
- [11] Ciccacci, S., P. Fredi, E. Lupia Palmieri, F. Salvini, 1987. An approach to the quantitative analysis of the relations between drainage pattern and fracture trend. In: Gardiner V. (Ed.) International Geomorphology, Proceedings of the First International Conference on Geomorphology, Part II, 49-68, John Wiley and Sons Ltd., Chichester.
- [12] Cifelli, F., S. Donati, F. Funicello, A. Tertulliani, 2000. High-density macroseismic survey in urban areas. II. Results for the city of Rome, Italy, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 90, 298-311.
- [13] Cocco, M., G. Selvaggi, M. Di Bona, A. Basili, 1993. Recent seismic activity and earthquake occurrence along the Apennines, in *Recent evolution and seismicity of the Mediterranean region*, edited by E. Boschi *et al.*, pp. 259-312, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- [14] Corrado, S., 1995. Nuovi vincoli geometrico-cinematici all'evoluzione neogenica del tratto meridionale della Linea Olevano-Antròdoco, *Boll. Soc. Geol. It.*, 114, 245-276.
- [15] Faccenna, C., R. Funicello, P. Montone, M. Parotto, M. Voltaggio, 1994a. An example of late Pleistocene strike-slip tectonics: the Acque Albule basin (Tivoli, Latium), *Mem. Descr. d. Carta Geol. d'It.*, 49, 37-50.
- [16] Faccenna, C., R. Funicello, M. Mattei, 1994b. Late Pleistocene N-S shear zones along the Latium Tyrrhenian margin: structural characters and volcanological implications, *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 36, n. 141-144, 507-522.
- [17] Faccenna C., R. Funicello, F. Marra, 1995. Inquadramento geologico-strutturale dell'area romana, in "La Geologia di Roma. Il Centro Storico", *Mem. Descr. Carta Geol. d'It.*, 50, 31-47.

- [18] Faccenna, C., P. Davy, J.P. Brun, R. Funicello, D. Giardini, M. Mattei, T. Nalpas, 1996. The dynamics of back-arc extension: an experimental approach to the opening of the Tyrrhenian Sea, *Geophys. J. Int.*, 126, 781-795.
- [19] Faccenna C., M. Soligo, A. Billi, L. De Filippis, R. Funicello, C. Rossetti, P. Tuccimei, 2008. Late Pleistocene depositional cycles of the Lapis Tiburtinus travertine (Tivoli, Central Italy): Possible influence of climate and fault activity, *Global and Planetary Change*, 63, 299-308. doi: 10.1016/j.gloplacha.2008.06.006.
- [20] Florindo, F., F. Marra, P. Montone, M. Pirro, E. Boschi, 2004. Palaeomagnetic results from an archaeological site near Rome (Italy): new insights for tectonic rotation during the last 0.5 Ma, *Ann. Geophys.*, 47, 5, 1665-1673.
- [21] Fréchet, J., 1985. Sismogenèse et doublets sismiques, these d'Etat, 206 pp., Univ. é Sci. et Méd. de Grenoble, Grenoble, France.
- [22] Freda, C., M. Gaeta, D.B. Karner, F. Marra, P.R. Renne, J. Taddeucci, P. Scarlato, J.N. Christensen, L. Dallai, 2006. Eruptive history and petrologic evolution of the Albano multiple maar (Alban Hills, Central Italy), *Bull. Volc.*, 68, 567-591, doi: 10.1007/s00445-005-0033-6.
- [23] Frepoli, A., A. Amato, 1997. Contemporaneous extension and compression in the northern Apennines from earthquake fault-plane solutions, *Geophys. J. Int.*, 129, 368-388.
- [24] Frepoli A., Marra F., Maggi C., Marchetti A., Nardi A., Pagliuca N.M., Pirro M., 2010. Seismicity, seismogenic structures, and crustal stress fields in the greater Rome area (central Italy), *Journal of Geophysical Research*, vol. 115, B12303, doi: 10.1029/2009JB006322.
- [25] Gentile, G.F., G. Bressan, L. Burlini, R. De Franco, 2000. Three-dimensional V_p and V_p/V_s models of the upper crust in the Friuli area (north-eastern Italy), *Geophys. J. Int.*, 141, 457-478.
- [26] Gephart, J.W., 1990. FMSI: a Fortran program for inverting fault/slickenside and earthquake focal mechanism data to obtain the regional stress tensor, *Comput. Geosci.*, 16, 953-989.
- [27] Got, J.L., J. Frechet, F.W. Klein, 1994. Deep fault plane geometry inferred from multiplet relative relocation beneath the south flank of Kilauea, *J. Geophys. Res.*, 99, 15,375-15,386.
- [28] Gruppo di Lavoro CPTI, 2004. Catalogo parametrico dei terremoti italiani, versione 2004 (CPTI04), INGV, Bologna.
- [29] Horvath, F., H. Berckhemer, 1982. Mediterranean back arc basins, in *Alpine Mediterranean Geodynamics*, pp. 145-175, eds Berckhemer, H. & Hsu, K.J., Geodyn. Ser., 7, American Geophys. Un., Washington, DC.
- [30] Hunstad, I., G. Selvaggi, N. D'Agostino, P. England, P. Clarke, M. Pierozzi, 2003. Geodetic strain in peninsular Italy between 1875 and 2001, *Geoph. Res. Lett.*, vol. 30, NO.4 1181, doi: 10.1029/2002GL016447.
- [31] Karner, D.B., F. Marra, F. Florindo, E. Boschi, 2001. Pulsed uplift estimated from terrace elevations in the coast of Rome: Evidence for a new phase of volcanic activity? *Earth Planet. Sci. Lett.*, 188, 135-148.
- [32] Kissling, E., W.L. Ellsworth, D. Eberhart-Phillips, U. Kradolfer, 1994. Initial reference models in local earthquake tomography, *J. Geophys. Res.*, 99, 19635-19646.
- [33] Jones, R.R., P.W.G. Tanner, 1995. Strain partitioning in transpression zones, *Journal of Structural Geology* 17, 793-802.
- [34] Lahr, J.C., 1989. HYPOELLIPSE/Version 2.0: a computer program for determining local earthquake hypocentral parameters, magnitude, and first motion pattern. U. S. Geol. Surv. Open File Rep., 95, 89-116.
- [35] Lucente, F.P., F. Speranza, 2001. Belt bending driven by lateral bending of subducting lithospheric slab: geophysical evidences from the northern Apennines (Italy), *Tectonophysics*, 337, 53-64.
- [36] Malinverno, A., W.B.F. Ryan, 1986. Extension in the Tyrrhenina Sea and shortening in the Apennines as result of arc migration driven by sinking of the lithosphere, *Tectonics*, 5, 227-245.

- [37] Mariucci, M.T., A. Amato, P. Montone, 1999. Recent tectonic evolution and present stress in the Northern Apennines (Italy), *Tectonics*, 18, 108-118.
- [38] Marra, F., 1999. Low-magnitude earthquakes in Rome: structural interpretation and implications for local stress-field, *Geophys. J. Int.*, 138, 231-243.
- [39] Marra, F., 2001. Strike-slip faulting and block rotation: A possible triggering mechanism for lava flows in the Alban Hills? *J. Struct. Geol.*, 23 (2), 129-141.
- [40] Marra, F., J. Taddeucci, C. Freda, W. Marzocchi, P. Scarlato, 2004a. Recurrence of volcanic activity along the Roman Comagmatic Province (Tyrrhenian margin of Italy) and its tectonic significance, *Tectonics*, 23, TC4013, doi: 10.1029/2003TC001600.
- [41] Marra, F., P. Montone, M. Pirro, E. Boschi, 2004b. Evidence of Active Tectonics on a Roman Aqueduct System (II-III Century A.D.) near Rome, Italy, *J. Struct. Geol.*, 26, 679-690.
- [42] Marra F., D.B. Karner, C. Freda, M. Gaeta, P.R. Renne, 2009. Large mafic eruptions at the Alban Hills Volcanic District (Central Italy): chronostratigraphy, petrography and eruptive behavior, *Journ. Volc. Geoth. Res.*, 179, 217-232, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2008.11.009.
- [43] Molin, D., S. Ambrosini, S. Castenetto, E. Di Loreto, L. Liperi, A. Paciello, 1986. Aspetti della sismicità storica di Roma, *Mem. Soc. Geol. It.*, 35, 439-448.
- [44] Molin, D., E. Guidoboni, 1989. Effetto fonti, effetto monumenti a Roma: i terremoti dell'antichità a oggi, in "I Terremoti prima del Mille in Italia e nell'Area Mediterranea", Edited by E. Guidoboni, S.G.A., Bologna, 194-223.
- [45] Molin, D., A. Rossi, A. Tertulliani, V. Verrubbi, 2002. Studio della sismicità dell'alto bacino dell'Aniene (Appennino Centrale – Italia) e catalogo sismico di area, Quaderni di Geofisica n. 24, INGV.
- [46] Montone, P., F. Salvini, 1993. Geologia strutturale dei rilievi tra Colli di Monte Bove (Carsoli) e Tagliacozzo, Abruzzo, *Geologica romana*, 29, 15-29.
- [47] Montone, P., A. Amato, C. Chiarabba, G. Buonasorte, A. Fiordalisi, 1995. Evidence of active extension in Quaternary volcanoes of Central Italy from breakout analysis and seismicity, *Geoph. Res. Lett.*, 22, 1909-1912.
- [48] Montone, P., M.T. Mariucci, S. Pondrelli, A. Amato, 2004. An improved stress map for Italy and surrounding regions (Central Mediterranean), *J. Geophys. Res.*, 109, 10410, doi: 10.1029/2003jb002703.
- [49] Paige, C.C., M.A. Saunders, 1982. LSQR: An algorithm for sparse linear equations and sparse least squares, *ACM Trans Math. Software*, 8, 43-71.
- [50] Palladino D.M., M. Gaeta, F. Marra, 2001. A large k-foiditic hydromagmatic eruption from the early activity of the Alban Hills Volcanic District (Italy), *Bulletin of Volcanology*, 63, 345-359.
- [51] Parotto, M., A. Praturlon, 1975. Geological summary of the Central Apennines. In: Ogniben L., M. Parotto and A. Praturlon (eds) - Structural Model of Italy. Quad. Ric. Scient., 90, C.N.R., Rome, 257-311.
- [52] Patacca, E., P. Scandone, 1989. Post-Tortonian mountain building in the Apennines. The role of the passive sinking of a relic lithospheric slab, in *The Lithosphere in Italy*, edited by A. Boriani, M. Bonafede, G.B. Piccardo & G.B. Vai, Advances in Earth Science Research. It. Nat. Comm. Int. Lith. Progr., Mid-term Conf. (Rome, 5-6 May 1987), *Atti Conv. Lincei*, 80, 157-176.
- [53] Patacca, E., R. Sartori, P. Scandone, 1990. Tyrrhenian basin and apenninic arcs: kinematic relations since late Tortonian times, *Mem. Soc. Geol. It.*, 45, 425-451.
- [54] Piana Agostinetti, N., A. Amato, 2009. Moho depth and Vp/Vs ratio in peninsular Italy from teleseismic receiver functions, *J. Geophys. Res.*, 114, B06303, doi: 10.1029/2008JB005899.
- [55] Pondrelli, S., S. Salimbeni, G. Ekström, A. Morelli, P. Gasperini, G. Vannucci, 2006. The Italian CMT dataset from 1977 to the present, *Phys. Earth Planet. Int.*, 159/3-4, 286-303, doi: 10.1016/j.pepi.2006.07.008.

- [56] Pontoise, B., Monfret, T., 2004. Shallow seismogenic zone detected from an offshore-onshore temporary seismic network in the Esmeraldas area (Northern Ecuador). *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 5 (2), 1-22.
- [57] Reasenber, P., D. Oppenheimer, 1985. FPFIT, FPLOT and FPPAGE: FORTRAN computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions, *U.S. Geol. Surv. Open-File Rep.* 85-739.
- [58] Reutter, K.J., P. Giese, H. Closs, 1980. Lithospheric split in the descending plate: observation from the Northern apennines, *Tectonophysics*, 64, T1-T9.
- [59] Roberts, G.P., P. Cowie, I. Papanikolaou, and A.M. Michetti, 2004. Fault scaling relationships, deformation rates and seismic hazards: an example from the Lazio-Abruzzo Apennines, central Italy, *J. Struct. Geol.*, 26, 377-398. doi: 10.1016/S0191-8141(03)00104-4.
- [60] Salvi, S., S. Atzori, C. Tolomei, J. Allievi, A. Ferretti, F. Rocca, C. Prati, S. Stramondo, N. Feuillet, 2004. Inflation rate of the Colli Albani volcanic complex retrieved by the permanent scatters SAR interferometry technique, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L12606, doi: 10.1029/2004GL020253.
- [61] Salvini, F., E. Vittori, 1982. Analisi strutturale della linea Olevano-Antrodoco-Posta (Ancona-Anzio *Auct.*): metodologia di studio delle deformazioni fragili e presentazione del tratto meridionale, *Mem. Soc. Geol. It.*, 24, 337-355.
- [62] Selvaggi, G., A. Amato, 1992. Subcrustal earthquakes in the Northern Apennines (Italy): evidence for a still active subduction? *Geoph. Res. Lett.*, 19, 2127-2130.
- [63] Serri, G., 1997. Neogene-Quaternary magmatic activity and its geodynamic implications in the Central Mediterranean region, *Ann. Geofisica*, 3, 681-703.
- [64] Serri, G., F. Innocenti, P. Manetti, 1993. Geochemical and Petrological evidence of the subduction of delaminated Adriatic continental lithosphere in the genesis of the Neogene-Quaternary magmatism of Central Italy, *Tectonophysics*, 223, 117-147.
- [65] Tapponier, P., 1977. Evolution du système Alpin en Méditerranée: poinçonnement et écrasement rigide-plastique, *Bull. Soc. Geol. France*, 7 (19), 437-460.
- [66] Tertulliani, A., F. Riguzzi, 1995. Earthquakes in Rome during the past one hundred years, *Ann. di Geofisica*, 38, 591-606.
- [67] Tertulliani, A., A. Rossi, R. Di Giovambattista, 2003. Reappraisal of the 22 October 1919 Central Italy Earthquake, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 93, 1298-1305.
- [68] Ventura, G., F.R. Cinti, F. Di Luccio, N.A. Pino, 2007. Mantle wedge dynamics vs crustal seismicity in the Apennines (Italy), *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 8 (2), 1525-2027.
- [69] Waldhauser, F., 2001. HypoDD: A program to compute double-difference hypocenter locations, *U.S. Geol. Surv. Open File Rep.*, 01-113.
- [70] Waldhauser, F., W.L. Ellsworth, 2000. A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward Fault, California, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 90, 1353-1368.
- [71] Wyss M., B. Liang, W.R. Tanigawa, X. Wu, X., 1992. Comparison of orientations of stress and strain tensors based on fault-plane solutions in Kaoiki, Hawaii, *J. Geophys. Res.*, 97, 4769-4790.
- [72] Zoback, M.L., 1992. First- and second-order patterns of stress in the lithosphere: The world stress map project, *J. Geophys. Res.*, 97, 11,703-11,728.

ECOFISIOLOGIA VEGETALE

DIEGO D'ANGELI¹ – GIULIANO FANELLI¹ – CRISTINA DE NICOLA¹
ANNA TESTI¹ – SANDRO PIGNATTI¹

Censimento floristico su griglia quadrettata nella Tenuta Presidenziale di Castelporziano

Risultati preliminari

Abstract – *Floristic inventory on grid in the Castelporziano Reserve: preliminary results.*

In this paper we present preliminary results of a research, whose aim is the realization of a georeferenced map of distribution of flora in the Castelporziano Estate. A floristic inventory was carried out on a grid (according to the standard European method) of 43 squares, each with a surface of about 8 km². The records included up to date in the data-bank are 3200 for 533 species, with a mean of 93 species for square.

The maps of distributions of some species show interesting patterns: *Asparagus aphyllus*, a thermophilous species of dune habitats, was found with high frequency within hygrophilous woodlands dominated by *Fraxinus oxycarpa*, probably in relationship with climatic changes or variations of the water-table; *Euphorbia corallioides*, endemic and rare species in Italy, presents in the Castelporziano territory a distribution exclusive of the south sector of the grid.

Ellenberg indicator values for light-L, temperature-T, continentality-K, soil moisture-F, soil reaction-R, soil nutrients-N, salinity-S were applied to a data *subset* of 450 species × 26 squares representatives of the whole grid. Ellenberg indicators allowed to distinguish some sectors: the squares distributed along the west border have a flora more heliophilous, thermophilous and oligotrophic, while the internal squares localized in the south sector of the grid, show higher values of soil moisture and nutrients indicators: the west sector corresponds, in fact, to the dominance of mediterranean sclerophyllous vegetation, while the deciduous mesophilous oak forest prevail in the central and southern squares of the grid. It is important to stress out that, nevertheless a strong and long-time disturbance affects the flora and the vegetation of the Castelporziano Estate, the distribution patterns of the flora up to now recorded is coherent with the vegetation and with the ecology of the different grid sectors.

Key words: flora, grid, distribution maps, Ellenberg indicators.

¹ Dipartimento di Biologia Ambientale, Università La Sapienza, Orto Botanico, L.go Cristina di Svezia 24, Roma.

Sommario – In questo articolo vengono presentati risultati preliminari di una ricerca il cui scopo è la realizzazione di una mappa georeferenziata della flora della Tenuta. È stato effettuato un censimento floristico (ancora in corso) su una griglia (seguendo il metodo Europeo) di 43 quadranti, ciascuno con una superficie di circa 8 km²; 3200 records sono stati inseriti in una banca-dati e finora le specie sono 533 con una media di 93 per quadrante. Le mappe di distribuzione di alcune specie mostrano interessanti patterns: *Asparagus aphyllus*, una specie termofila tipica degli ambienti dunali, è stata trovata con frequenza elevata all'interno dei boschi igrofilo a *Fraxinus oxycarpa*; *Euphorbia corallioides*, specie endemica e rara in Italia, presenta una distribuzione localizzata nel settore sud della griglia. Gli indicatori di Ellenberg per luce-L, temperatura-T, continentalità-K, umidità del suolo-F, pH-R, nutrienti-N, salinità-S sono stati applicati a un sub-campione di 450 specie × 26 quadranti rappresentativi dell'intera griglia. Gli indicatori hanno permesso di distinguere alcuni settori: i quadranti distribuiti lungo il confine ovest della Tenuta ospitano una flora eliofila, termofila e oligotrofica, mentre quelli interni del settore sud presentano valori elevati degli indicatori di umidità del suolo e di nutrienti. Il settore ovest è infatti caratterizzato dalla dominanza della vegetazione sclerofilla mediterranea, mentre i quadranti interni distribuiti nel settore sud sono prevalentemente occupati dal querceto decido mesofilo. È importante sottolineare che, nonostante la flora e la vegetazione della Tenuta siano sottoposti ad un intenso e prolungato disturbo da ungulati selvatici, la distribuzione delle specie finora rilevate è coerente con la vegetazione e con le caratteristiche ecologiche dei diversi settori della griglia.

Parole chiave: flora, griglia, mappe di distribuzione, indicatori di Ellenberg.

Introduzione

Il censimento floristico su reticolato geografico rappresenta un metodo di mappatura della flora i cui primi dati sono relativi all'Europa centrale [6; 9].

La superficie dell'Europa è stata suddivisa in *aree di base* dell'estensione di 6×10 minuti geografici, ulteriormente suddivise in 4 quadranti di 3×5 minuti ciascuna. Ogni quadrato ha una superficie di 35 km². Durante il rilevamento vengono annotate tutte le specie presenti all'interno di ciascun quadrante, utilizzando oltre ai dati di campo anche quelli bibliografici ed i campioni d'erbario. La superficie delle aree di base e dei quadranti varia in funzione della latitudine. Ad ogni area di base viene assegnato un numero secondo un codice internazionale. I quadranti vengono indicati con gli stessi numeri dell'area di base a cui si aggiunge la numerazione I, II, III, IV rispettivamente per i settori NW, NE, SW, SE dell'area.

Il territorio italiano è suddiviso in circa 2500 aree di base che comprendono circa 10.000 quadranti.

Le aree di base si ottengono sulla base della Carta d'Italia 1:50.000 dell'I.G.M. orientata secondo Greenwich: i fogli 1:50.000 vengono suddivisi secondo le due mediane in 4 aree uguali; suddividendo ancora le 4 aree secondo le linee mediane si ottengono 16 quadranti per foglio.

Tale metodo di rilevamento è stato adottato per la realizzazione dell'atlante delle Isole Britanniche [11] e quello della Germania Occidentale [10].

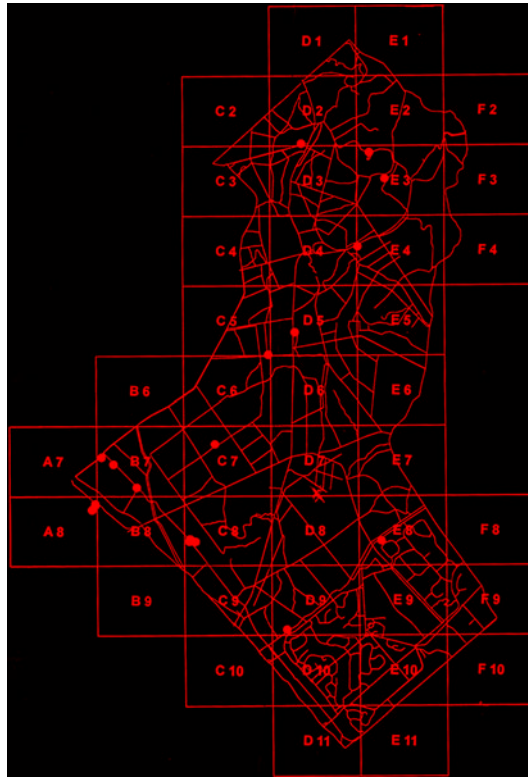


Fig. 1. Reticolato di mappatura della Flora dell'Europa centrale [6; 9] adattato al territorio di Castel Porziano.

Applicando tale metodo si ottengono informazioni su:

– diversità della flora: le specie presenti in un quadrante rappresentano una misura della densità, cioè del rapporto specie/area [17] Vengono così notevolmente aumentate le conoscenze sulla flora locale.

In media in Europa sono state censite dalle 400 alle 700 specie per quadrante, con punte di poco più di 1.000 specie per i quadranti più ricchi [14; 15] La densità delle specie varia in relazione a fattori ecologici ed antropici.

– fitogeografia: la conoscenza della distribuzione delle specie contribuisce alla conoscenza della storia naturale e delle caratteristiche bioclimatiche di un territorio.

In sintesi, quando all'informazione contenuta nel semplice elenco floristico si associano dati relativi alla distribuzione nello spazio, si passa dalla semplice descrizione della flora, all'ecologia della comunità vegetale. A questo scopo, il censimento su griglia quadrettata presenta il vantaggio della standardizzazione, della facilità di elaborazione statistica e della chiarezza di lettura attraverso le mappe di distribuzione.

Metodi

Censimenti pregressi effettuati in Tenuta [1; 13] hanno permesso di rilevare la presenza di 970 specie in un'area di 5800 ettari, mostrando l'elevata alfa-diversità di questo territorio. Nel censimento del 2001 mancavano la georeferenziazione e la conseguente distribuzione delle singole specie (eccetto quelle rare o incluse in liste di protezione). Lo scopo del presente lavoro (ancora in corso) è quello di riferire ogni specie ai quadranti della griglia per ottenere una mappa georiferita della distribuzione della flora. Il reticolato originale è stato ulteriormente suddiviso in 4 quadranti di circa 8 km² ciascuno, per adattare la griglia alla topografia dell'area e ottenere quindi una maggiore precisione nella restituzione dei dati floristici. Sono risultati 43 quadranti che comprendono l'intero territorio della Tenuta; in quelli marginali la porzione di superficie della Tenuta occupa una piccola frazione dell'area del quadrante.

Il censimento si è svolto da marzo ad agosto 2011 e proseguirà nell'anno successivo. Per la segnalazione delle specie sono state utilizzate apposite schede di rilievo; i dati sono stati quindi organizzati in matrici specie/quadranti per la creazione di una banca dati in GIS.

La nomenclatura delle specie segue Pignatti [12].

La matrice floristica specie/quadranti di un sub-campione di 450 specie × 26 quadranti rappresentativi di tutti i settori della griglia, è stata successivamente trasformata in una matrice ecologica in cui sono stati applicati gli indicatori di Ellenberg [7]: ad ogni specie sono stati attribuiti i valori di luce – L, temperatura – T, continentalità – K, umidità del suolo – F, acidità – R, nutrienti – N, salinità – S provenienti dalla banca dati [8], con lo scopo di ottenere informazioni ecologiche associate alla distribuzione della flora.

Risultati

I record inseriti nella banca dati sono 3200; le specie 533. Il numero medio di specie per quadrante è 93. Tali saranno integrate al procedere del censimento.

Sono di seguito presentate le mappe di distribuzione e gli ecogrammi di alcune specie scelte sulla base della frequenza (rare, ubiquiste), delle caratteristiche ecologiche o perché indicatrici di dinamiche in atto della flora e della vegetazione.

Mappe di distribuzione di specie significative

Asparagus aphyllus

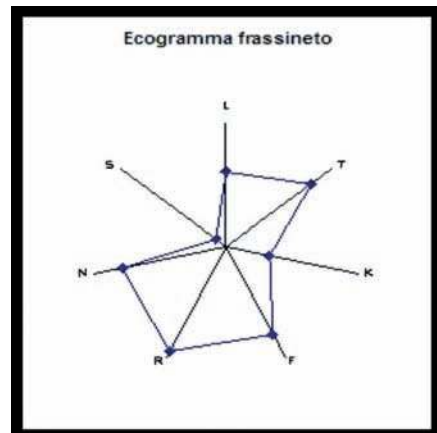
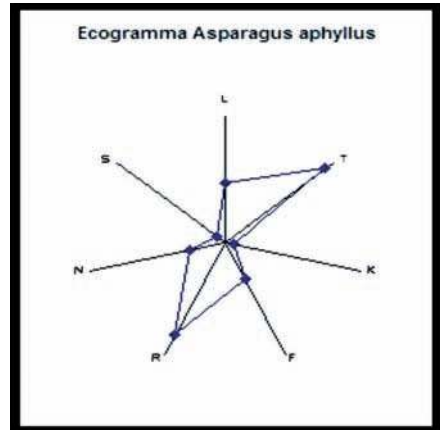
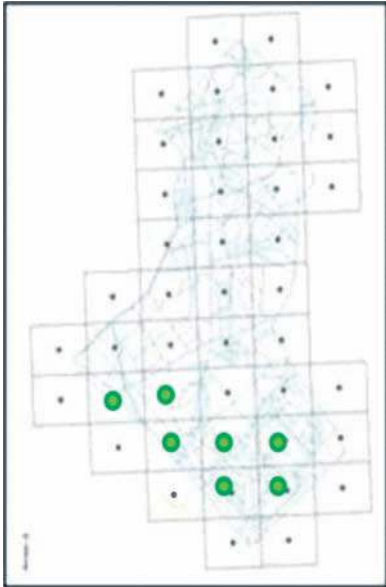
Specie retrodunale, costiera rarissima nel Lazio [2; 3].

Si osserva un ampliamento verso l'interno dell'area di distribuzione della specie, che è stata rilevata frequentemente nei frassineti a *Fraxinus oxycarpa* oltre che nelle depressioni retrodunali.

Il confronto tra l'ecogramma del frassineto e quello di *Asparagus aphyllus* mostra che le differenze maggiori sono espresse dagli indicatori di umidità del suolo - F e dei nutrienti - N, i cui valori sono elevati nei frassineti e bassi per *A. aphyllus*.

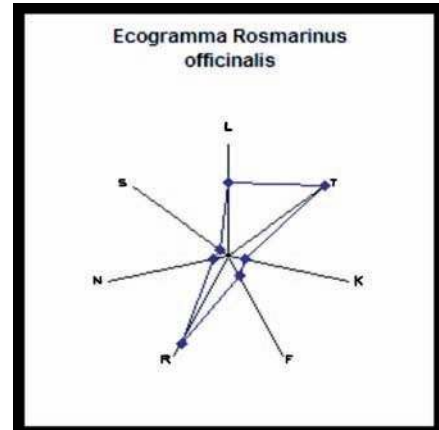
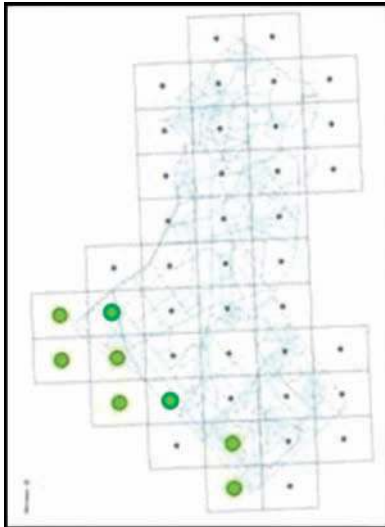
La presenza di *Asparagus aphyllus* nei frassineti risulta quindi atipica e causata da fattori ecologici da indagare, correlati probabilmente all'inaridimento del substrato indotto da alterazioni climatiche e/o da variazioni del livello della falda acquifera.

Se l'umidità del suolo non rappresentasse un fattore limitante per *Asparagus aphyllus*, si potrebbe prevedere una sua espansione in questo habitat: si noti come gli indicatori T ed R abbiano valori simili nell'ecogramma relativo alla specie e in quello relativo al bosco.



Rosmarinus officinalis

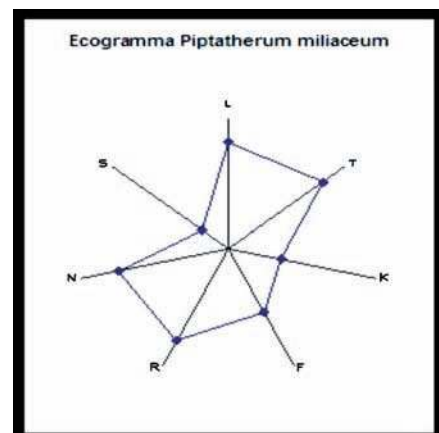
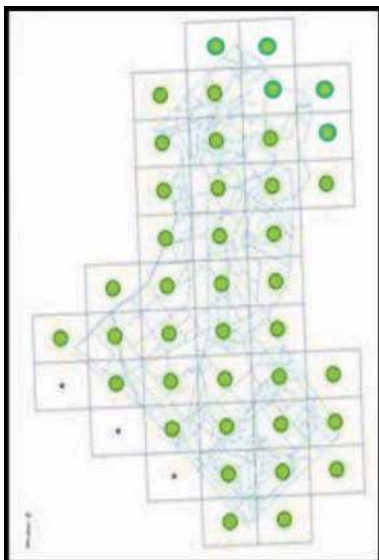
Specie costiera della duna recente.



Piptatherum miliaceum

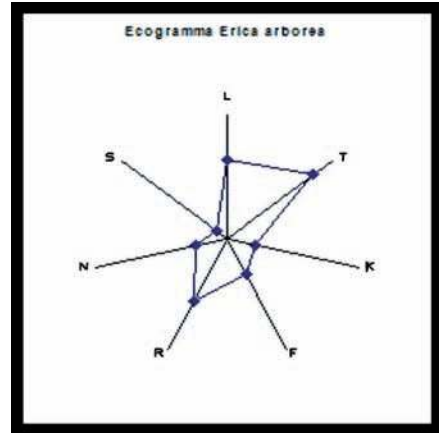
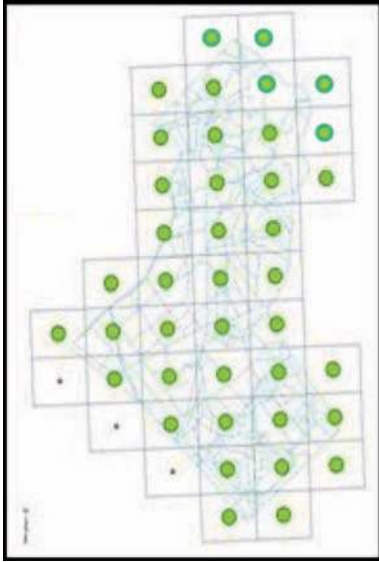
Specie a distribuzione ubiquitaria, diffusa in modo pressoché omogeneo all'interno di tutta la Tenuta con l'eccezione dei lembi costieri dei quadranti. Dall'ecogramma risulta che la specie ha una richiesta elevata di L, T, R, N che indicano una sua specificità per ambienti caldi, aperti, su suoli eutrofici e basici. La sua ampia distribuzione suggerisce una ecotonizzazione dei boschi della Tenuta.

Se la presenza di *P. miliaceum* è, come sembra, legata all'apertura dei boschi, questa specie rappresenta un importante indicatore del loro stato di conservazione.



Erica arborea

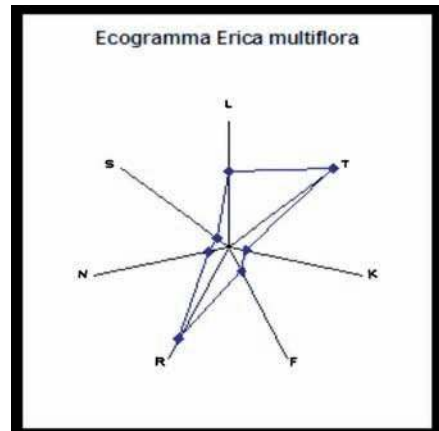
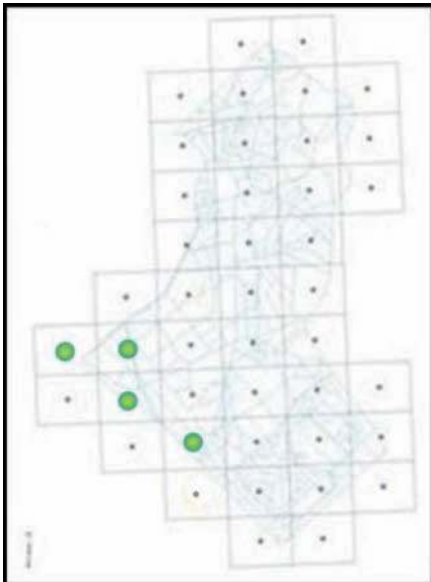
Specie ubiquitaria, abbondantemente distribuita nelle macchie e nei boschi.



Erica multiflora

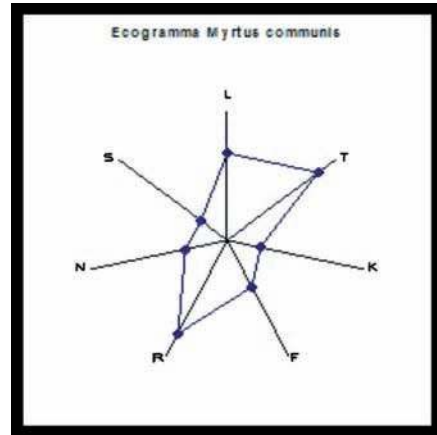
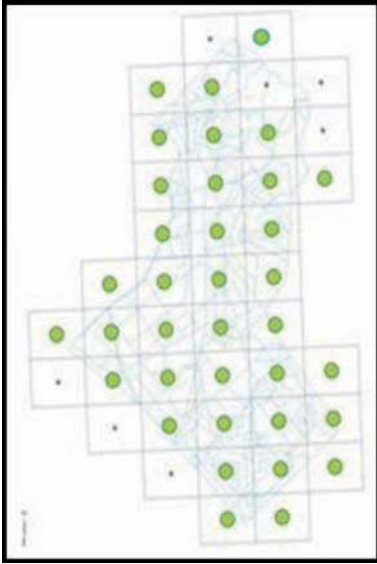
Specie localmente rara e distribuita nel settore Sud della Tenuta.

La nicchia espressa dall'ecogramma è coerente con la distribuzione della specie.



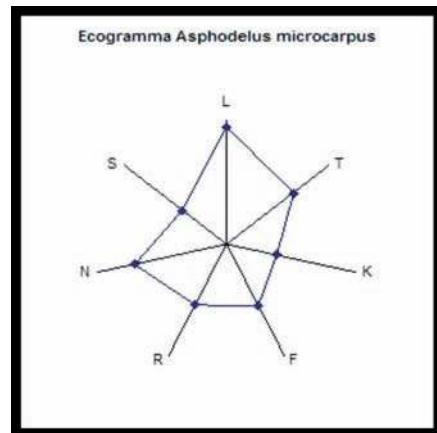
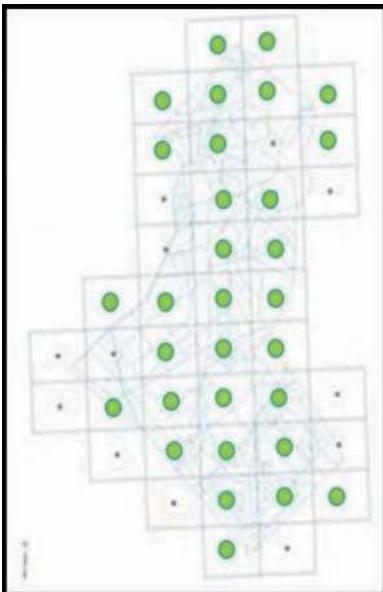
Myrtus communis

Specie mediterranea a distribuzione ubiquitaria.



Asphodelus microcarpus

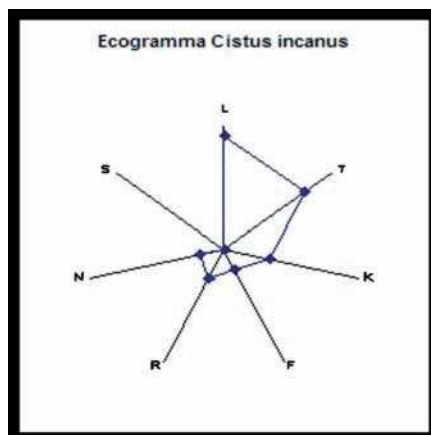
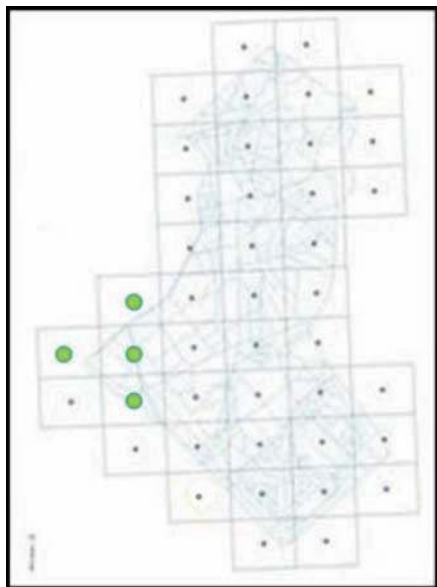
Specie mediterranea a distribuzione ubiquitaria.



Cistus incanus

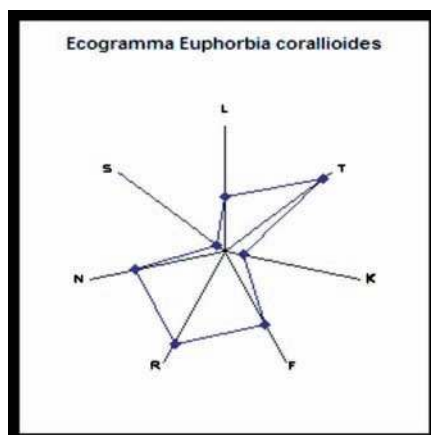
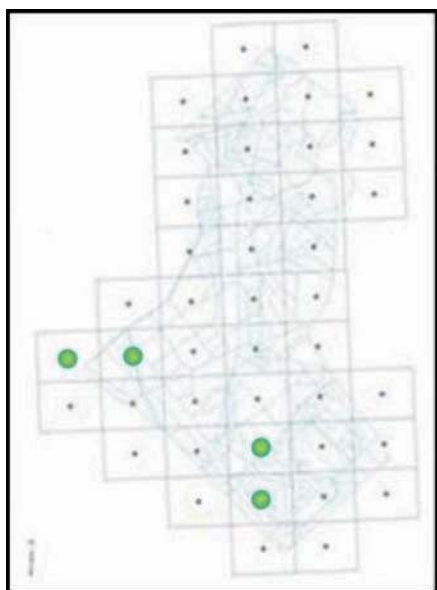
Specie distribuita nel settore sud-ovest della Tenuta.

Rispetto a *Cistus salvifolius*, a diffusione molto più ampia, tipico delle sugherete ed elemento dei mantelli termofili, *C. incanus* ha una nicchia molto più ristretta caratterizzata da T ed L elevate, N, R, F molto bassi. Tende ad essere componente esclusiva dei mantelli.



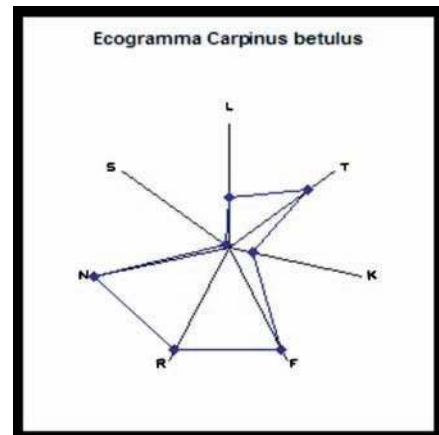
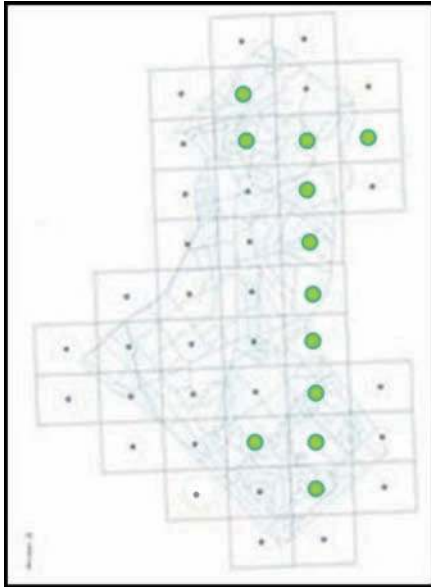
Euphorbia corallioides

Specie endemica e rara in Italia, distribuita nel settore Sud Ovest della Tenuta.



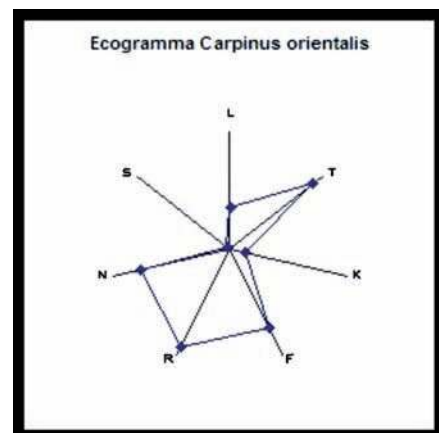
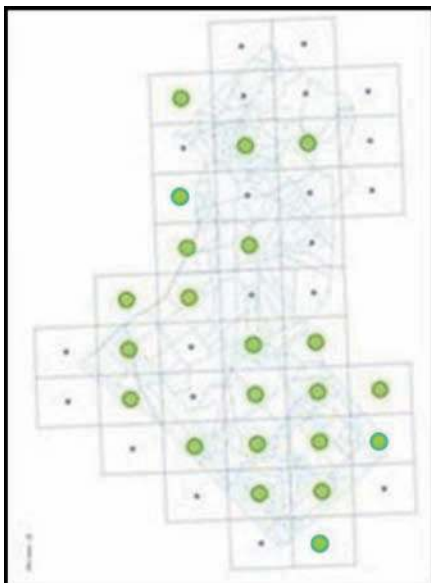
Carpinus betulus

Specie distribuita lungo una fascia che collega i lauro-carpineti a Nord-Est e le cerrete umide a *Carpinus betulus* a Sud-Est. Si tratta di boschi umidi su suoli tendenti alla basicità e ricchi di nutrienti, in accordo con la nicchia della specie espressa dall'ecogramma.



Carpinus orientalis

La specie caratterizza le cerrete più termofile e più xeriche.



Indicatori di Ellenberg

I valori degli indicatori applicati al sub-set di dati mostrano gradienti ecologici tra i diversi quadranti (Tab. 1).

L – I valori più elevati di luce sono stati trovati nei quadranti marginali o a maggior ricchezza floristica (C3, E2), mentre i più bassi nei quadranti interni (D7, D9) caratterizzati da estese formazioni boschive.

T – I valori più elevati di temperatura caratterizzano i quadranti marginali a Sud Ovest (A7, A8, B7, B8: Grotta di Piastra), in corrispondenza del querceto sempreverde mediterraneo e della vegetazione dunale; i valori più bassi si riscontrano nei quadranti interni (C7, D7, D9) in accordo con i valori di L.

K – I valori più elevati di continentalità sono nei quadranti marginali di Nord-Est e Nord-Ovest (C3, E2), che corrispondono ai valori più alti di L; i più bassi nei quadranti a Sud-Ovest (B7 e B9) in corrispondenza della vegetazione mediterranea sclerofilla.

F – I valori più elevati di umidità del suolo sono relativi ai quadranti interni del settore sud (C6, C7, D9, D10) in corrispondenza anche in questo caso di estese formazioni boschive; i più bassi nei quadranti a sud-ovest (A7, A8, B7, B8) che sono i più termofili.

	A7	A8	B6	B7	B8	C2	C3	C4	C6	C7	C8	C9	D2
L	6,5	6,6	7,1	6,3	6,5	6,9	8,3	6,7	6,4	6,6	7,3	7,2	6,2
T	8,2	8,2	7,2	8,3	8,0	7,1	7,6	7,2	7,1	6,8	7,0	7,0	7,7
K	2,4	2,6	3,2	2,3	2,6	3,2	3,7	3,0	2,5	2,8	3,4	3,4	2,4
F	3,5	3,5	4,5	3,6	3,9	4,8	3,5	4,8	4,8	5,1	4,8	4,7	4,0
R	7,2	7,1	6,8	7,3	6,9	6,6	6,2	6,7	6,7	6,7	6,6	6,6	7,1
N	4,1	4,2	5,7	4,0	4,6	5,8	4,9	5,7	5,0	5,4	6,0	5,8	4,4
S	1,5	1,6	2,1	1,4	1,6	2,1	2,4	1,9	1,9	1,9	2,2	2,1	1,3

	D3	D4	D7	D9	D10	D11	E2	E4	E6	E7	E8	E9	E10
L	7,0	6,8	4,9	5,0	6,0	5,4	8,1	6,5	4,9	6,7	6,9	6,0	2,8
T	7,2	7,2	6,8	6,9	7,0	7,1	6,9	7,2	7,2	7,1	7,0	7,2	6,9
K	3,0	3,0	2,0	2,1	2,6	2,1	4,0	2,8	2,0	3,1	3,1	2,6	2,3
F	4,1	4,2	4,5	5,0	4,9	4,8	4,4	4,8	4,8	4,5	4,8	4,4	4,9
R	6,6	6,6	7,1	7,1	7,0	7,2	6,4	6,7	7,1	6,8	6,7	7,0	6,6
N	4,8	4,9	4,4	5,1	5,6	5,0	6,0	5,2	5,2	5,8	5,9	4,8	5,3
S	1,8	1,8	0,9	1,1	1,5	1,2	2,5	1,9	1,0	1,8	2,1	1,5	1,5

Tab. 1. Valori degli indicatori di Ellenberg per quadrante applicati al sub-campione.

R – L'indicatore di pH non mostra un gradiente rilevante.

N – I valori più alti di nutrienti sono rilevati in corrispondenza delle cerrete umide del settore centro sud (C8, E8); i più bassi sono riscontrati in corrispondenza della vegetazione sclerofilla arborea ed arbustiva (A7, A8, D2).

I quadranti interni del settore centro Nord (D4, D5, E4) mostrano valori intermedi per tutti gli indicatori.

In sintesi, sia gli indicatori climatici L, T, K, che edafici F, N mostrano pattern ecologici coerenti con la distribuzione geografica delle specie nei quadranti e con quella della vegetazione (Fig. 2 in appendice).

Discussione

Nonostante l'area di studio abbia un'estensione piuttosto limitata, accanto a specie ubiquitarie, che restituiscono interessanti informazioni sui processi dinamici in atto nella Tenuta, sono presenti specie a distribuzione più limitata, che permettono di definire una zonazione del territorio in settori omogenei dal punto di vista ambientale.

Come *pattern* di distribuzione più generale, le specie mediterranee legnose come *Myrtus communis* ed *Erica arborea* o erbacee come *Asphodelus microcarpus*, sono ubiquitarie, indicando una grande potenzialità di questa flora legata alla vegetazione mediterranea secondaria anche nell'ambito delle formazioni boschive mesofile. La distribuzione ubiquista di *Piptatherum miliaceum*, specie stenomediterranea di ambienti prativi, è anch'essa una conseguenza di un processo di ecotonizzazione esteso a tutto il territorio della Tenuta, evidenziata anche in studi pregressi [16]. *Carpinus orientalis*, invece, nonostante l'abbondante e diffusa presenza nei quadranti, segue la distribuzione del querceto deciduo sub-mediterraneo di cui rappresenta un elemento caratteristico.

Alcune specie mostrano una diffusione ristretta, come *Erica multiflora*, *Rosmarinus officinalis*, *Cistus incanus*, *Euphorbia corallioides*, coerente con la distribuzione degli habitat di appartenenza. Tra queste specie va citato *Carpinus betulus*, la cui distribuzione segue una linea trasversale da nord a sud, in corrispondenza con i boschi a lauro e carpino del settore nord e le cerrete umide del settore centro-sud, in cui *Carpinus betulus* costituisce lo strato arboreo dominato. Questo *pattern* distributivo corrisponde a quello ottenuto dallo studio ecologico su humus e vegetazione (De Nicola *et al.*: in questo Volume).

Il censimento ha messo in evidenza un importante fenomeno di ingressione di specie termofile nell'ambito di formazioni boschive meso-igrofile: la presenza puntiforme di *Asparagus apyllus*, elemento retrodunale, riscontrata nei frassineti umidi, può essere considerata una *spia* di un processo di inaridimento legato probabilmente all'abbassamento della falda acquifera o alle alterazioni climatiche attuali.

Indicatori di Ellenberg

Gli ecogrammi delle specie permettono di evidenziare in modo sintetico la corrispondenza tra la distribuzione delle specie, l'habitat in cui una specie è presente e la nicchia ecologica descritta da valori dei 7 indicatori. *Euphorbia corallioides*, per esempio, con valori bassi di L e K ed alti di K (vedi ecogramma), è localizzata in corrispondenza di boschi molto chiusi, mentre *Cistus incanus*, con valori alti di L e T e valori medi di K, è localizzata presso Grotta di Piastra, un'area dominata da vegetazione sclerofilla e termofila. Questo significa che conoscendo la nicchia delle specie e disponendo della carta degli habitat, possiamo prevedere esattamente la distribuzione nello spazio e nel tempo delle specie; è il caso di *Asparagus aphyllus*, la cui recente espansione all'interno di boschi umidi viene spiegata dal modello di Ellenberg.

I gradienti espressi dagli indicatori mostrano pattern spaziali significativi, coerenti con la distribuzione della vegetazione [4; 5; 13]. In particolare gli indicatori di luce, temperatura e continentalità (L, T, K) differenziano marcatamente i quadranti localizzati soprattutto sul margine occidentale, a contatto con aree esterne alla Tenuta fortemente antropizzate o urbanizzate, da quelli orientali in generale contigui ad aree naturali esterne come il Parco di Decima Malafede. Gli indicatori di umidità e nutrienti del suolo (F ed N) caratterizzano un settore centrale e meridionale esattamente in corrispondenza dei boschi a cerro e farnetto più umidi su suoli più fertili.

Conclusioni

Il lavoro è ancora in una fase di campionamento, pertanto conclusioni definitive potranno essere tratte solamente quando il censimento floristico sarà completato.

Nonostante ciò, i dati presentati in questa prima fase di raccolta ed elaborazione permettono di trarre alcune considerazioni generali. In particolare si riscontra una coerenza tra la distribuzione della flora finora rilevata, la vegetazione e i valori di bioindicazione secondo Ellenberg. Ci saremmo potuti aspettare una sostanziale omogeneità del territorio, in relazione al forte e prolungato disturbo degli ungulati selvatici, o una variabilità casuale senza precisi *patterns* spaziali. La zonazione emersa dalla distribuzione di alcune specie significative, correlata con le informazioni ecologiche, permette di distinguere settori omogenei da settori molto diversificati (Fig. 2): il settore del margine occidentale, più termofilo e oligotrofico, da quello centrale- meridionale più umido e quello orientale meno diversificato. Le mappe di distribuzione delle specie evidenziano la coesistenza di due *patterns* spaziali contrapposti:

1. specie a distribuzione ubiquitaria legate a condizioni omogenee di disturbo che determina una minore diversificazione tra gli habitat, in particolare per quanto riguarda la componente erbacea;

2. specie a distribuzione puntiforme legate alla permanenza di condizioni più naturali in situazioni di disturbo minore.

Il metodo di studio adottato sarà testato con i dati definitivi e risulterà di particolare utilità per la realizzazione di un atlante ecologico georeferenziato della flora della Tenuta.

APPENDICE

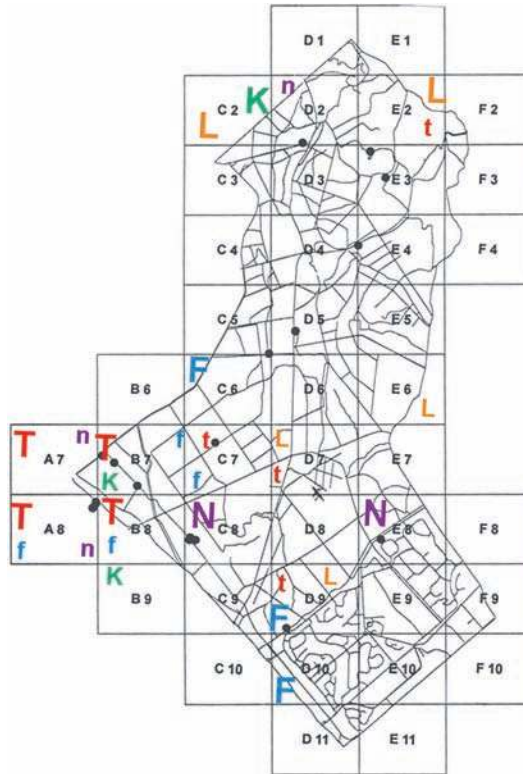


Fig. 2. Carta di distribuzione dei valori degli indicatori di Ellenberg nei quadranti del sub-campione: i valori più elevati sono rappresentati da lettere maiuscole, quelli più bassi da lettere minuscole. I quadranti che non riportano lettere presentano valori intermedi. L = luce, T = temperatura, K = continentalità, F = umidità del suolo, R = pH, N = nutrienti, S = salinità.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Anzalone B., Lattanzi E., Lucchese F., 1990. *Flora della Tenuta di Castelporziano* (Roma) – Acc. Naz. Lincei, Quad. n° 264: 133-218.
- [2] Anzalone B., 1994. *Prodromo della Flora Romana*. Elenco preliminare delle piante vascolari spontanea del Lazio. Aggiornamento. Parte I. Ann. Bot. (Roma), 52, suppl. 11 (1): 2-81.
- [3] Anzalone B., 1996. *Prodromo della Flora Romana*. Elenco preliminare delle piante vascolari spontanee del Lazio. Aggiornamento. Parte II. Ann. Bot. (Roma), 54, (2): 7-47.
- [4] Della Rocca A.B., Pignatti S., Bianco P.M., Mugnoli S., 2001. *La carta della vegetazione della tenuta di Castelporziano*, in *Il sistema ambientale della Tenuta presidenziale di Castelporziano*, vol. II: 709-748. Accademia delle Scienze. Roma.
- [5] Della Rocca A.B., Pignatti S., Bianco P.M., Mugnoli S., 2003. *New vegetation map of Castelporziano Presidential Estate, Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology II*, Proceedings of SPIE, Vol. 4886.
- [6] Ehrendorfer F. & Hamann U., 1965. *Vorschläge zu einer floristischen Kartierung von Mitteleuropa*, Ber. Deutch. Bot. Ges.: 78: 35-50, Berlino.
- [7] Ellenberg H., 1979. *Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas* (Indicator values of vascular plants in Central Europe). Scripta Geobotanica 9 (2° edition). Göttingen.
- [8] Fanelli, G., Testi, A., Pignatti, S., 2006. *Ecological indicator values for species in Central and Southern Italy flora*. In: *Il Sistema Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo*. Accademia delle Scienze, “Scritti e Documenti” XXXVII, Seconda Serie: 505-564.
- [9] Niklfeld, H., 1971. *Bericht über die Kartierung der Flora Mitteleuropas*. Taxon, 20: 545-571.
- [10] Haeupler H. & Schoenfelder P., 1971. *Atlas der Farn-und Blütenpflanzen der Bundesrepublik Deutschland*. 2. Aufl. Stuttgart. 768 S. (vergriffen).
- [11] Perring F.H. & Walters S.M., 1960. *Atlas of the British flora*. Thomas Nelson, London.
- [12] Pignatti, S., 1982. *La Flora d'Italia*. Edagricole, Bologna.
- [13] Pignatti S., Bianco P.M., Tescarollo P., G.T. Scarascia Mugnozza, 2001. *La vegetazione della Tenuta presidenziale di Castelporziano*. In: *Il sistema ambientale della Tenuta presidenziale di Castelporziano*, vol. II: 441-708. Accademia delle Scienze. Roma.
- [14] Pignatti S., 1995. *Ecologia Vegetale*. UTET.
- [15] Pignatti Wikus E. & Pignatti G., 1995. *Der Steinichemwald von Castelporziano*. Sauteria 6: 83-98.
- [16] Testi A., De Nicola C., Guidotti S., Serafini-Sauli A., Fanelli G., Pignatti S., 2006. *Vegetation ecology of Castelporziano woodlands*. In: *Il Sistema Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo*. Accademia delle Scienze, “Scritti e Documenti” XXXVII, Seconda Serie, Vol. II: 565-605.
- [17] Whittaker R. H., 1972. *Evolution and measurement of species diversity*. Taxon 21: 231-251.

ANNA TESTI¹ – SILVIA GUIDOTTI¹ – SANDRO PIGNATTI¹

Ricerche ecologiche e microclimatiche in relazione al cambio climatico nella Tenuta di Castelporziano

Abstract – *Ecological and microclimates studies in relationship whit climatic change in the Presidential Estate of Castelporziano.* The aim of this study is to investigate the microclimates of the different plant communities in the Castelporziano Estate to identify changes at short and medium time, caused by interacting factors at local scale like anthropic disturbance, climatic change and territory management. Air temperature and humidity, soil temperature and PAR (Photosynthetic Active Radiation) were monthly monitored. Measurements were taken in 21 stations, 6 of which along a transect in the vegetation of the dunes and the other 15 stations in forest associations. The dataset have been processed using different statistical treatments: (1) analysis of variance to evaluate the homeostatic capacity of the different communities; (2) analysis of microclimatic deviations values from mesoclimatic data, represented by Castelporziano Estate meteo-climatic stations, to detect microclimatic differences; (3) Multivariate Cluster Analysis to classify the different microclimates. Three main results were obtained: (1) comparison between microclimatic parameters measured during 2007-2008 and previous ones (2003) showed a general tendency of all forest types to shift towards xerophile conditions: air humidity decreased in a large percentage (20%). The woodland with major risk is the *Lauro-Carpinetum* that loses the 18% of air humidity in a very short period (5 years); (2) vegetation of the dunes displays homeostatic capacity in relationship with structural complexity increasing from pioneer communities of *Cakiletum maritimae* to mature stands of *Viburno-Quercetum ilicis*; (3) Cluster Analysis, performed on microclimatic data, allowed to classify vegetation in three different groups, confirming the same patterns obtained by floristic composition. Microclimate resulted a valid and robust tool to detect the ecological status of species and communities, and to follow their temporal changes.

Key words: microclimate, climatic changes, vegetation, diachronic comparisons.

Riassunto – Il monitoraggio microclimatico svolto nella Tenuta di Castelporziano ha consentito di focalizzare lo stato ecologico dei principali tipi di vegetazione forestale e delle associazioni della serie dunale.

Le misurazioni, eseguite secondo criteri standard, sono state effettuate con cadenza mensile in 21 stazioni rappresentative delle associazioni boschive e di quelle comprese nel

¹ Dipartimento di Biologia Ambientale, Università La Sapienza, Orto Botanico, L.go Cristina di Svezia 24, 00165 Roma.

transetto dunale. I parametri misurati sono: temperatura dell'aria (T°C), umidità relativa dell'aria (U%), radiazione luminosa espressa come PAR (Photosynthetic Active Radiation), temperatura del suolo (T°C).

I dati sono stati elaborati utilizzando diversi trattamenti statistici:

1) *Analisi della varianza* per evidenziare le variazioni dei parametri nelle singole comunità.

2) *Analisi degli scarti* dei valori dei parametri microclimatici dalle centraline meteo della Tenuta (Castello e Tor Paterno) per testare il grado di omeostasi delle diverse comunità.

3) *Analisi statistica multivariata*: classificazione del set di dati per avere una visione d'insieme.

Sono stati ottenuti tre risultati principali:

1) Il confronto tra il primo anno di studio effettuato nel 2003 e il biennio 2007-2008 ha evidenziato che, relativamente al parametro umidità, tutti i boschi mostrano una chiara tendenza verso la xericità; rispetto al 2003 il Lauro-Carpineto è il bosco più minacciato dalle attuali alterazioni climatiche, perdendo un 18% di umidità e diventando il bosco più arido; anche la quantità di radiazione incidente aumenta di circa il 70%, conferendo a questo tipo di bosco un carattere di accentuata eliofilia, del tutto insolito per la sua struttura chiusa che nel 2003 presentava valori di radiazione molto bassi: 21 Watt/m²/sec *versus* i 93 registrati successivamente.

2) La serie della duna mostra capacità omeostatiche che aumentano dalle comunità pioniere del *Cakiletum maritimae* al bosco maturo del *Viburno-Quercetum ilicis*.

3) La *Cluster Analysis* effettuata sui dati microclimatici, ha permesso una classificazione della vegetazione del tutto analoga a quella ottenuta dai dati floristici. Il microclima è risultato un valido strumento per definire e monitorare lo stato ecologico delle specie e delle comunità e per seguirne i cambiamenti temporali.

Parole chiave: microclima, alterazioni climatiche, vegetazione, confronti temporali.

Introduzione

Il clima è la risultante di tutti i fenomeni meteorologici che si verificano con maggior frequenza e costanza nel tempo, più precisamente è la risultante delle variazioni delle condizioni dell'atmosfera, che sono provocate essenzialmente da tre fattori: radiazione solare, moti del pianeta, forme e struttura della superficie terrestre [4]. In base all'estensione della zona d'influenza è possibile distinguere un macroclima o clima regionale, un mesoclima o clima locale quando interessa piccole zone ed infine un microclima puntiforme. Il macroclima si manifesta su un ampio territorio, e dipende dalla geografia, latitudine, distanza dal mare, orografia; esso può subire variazioni locali in dipendenza da fattori topografici: si ha così il mesoclima. Il microclima si manifesta in un'area limitata ed è influenzato dalla vegetazione presente nell'area e da altri fattori topografici; per esempio si possono registrare condizioni microclimatiche diverse passando dal livello del suolo fino alla chioma degli alberi [1, 10, 16]. In una regione climatica che ha un particolare regime di temperatura e di precipitazioni, il microclima varia come risultato della

topografia locale, influenza la trasmissione e la rimozione di calore ed acqua verso e dal suolo e comprende anche gli effetti del vento [18]. Il microclima forestale riveste attualmente una grande importanza in relazione agli effetti associati del clima e della silvicoltura: i boschi naturali sono eterogenei per la composizione degli alberi, per l'insieme di differenti età e classi di grandezza, e per l'insieme delle aperture più o meno grandi nella copertura degli alberi. In senso verticale c'è spesso un continuo sviluppo di rami e foglie; come risultato una foresta sviluppa un proprio microclima [15]. Lo scopo di questo studio è infatti quello di analizzare i diversi microclimi delle formazioni forestali della Tenuta, di monitorarli nel tempo per individuare i cambiamenti anche a breve e medio termine, dovuti a fattori che agiscono ad ampia scala come il clima, o a fattori locali inerenti lo sfruttamento del territorio (disturbo antropico, cambi di gestione, etc.) [8; 19].

Area di studio

Per determinare le caratteristiche climatiche della Tenuta di Castelporziano si è fatto riferimento ai dati termopluviometrici della stazione meteorologica collocata nella Tenuta, relativi al decennio 1981-1991. Da essi risulta che: la temperatura media annua è di 15,4°C; il mese più caldo è luglio quando si raggiunge una temperatura di 24°C, mentre il mese più freddo è gennaio con una temperatura di 8,1°C. Le precipitazioni sono concentrate nel periodo autunno-inverno e raggiungono il massimo in ottobre; le medie annue ammontano a 712 mm, il periodo di aridità si protrae da maggio ad agosto. Tenuto conto dei dati termo-pluviometrici la Tenuta di Castelporziano appartiene all'unità fitoclimatica 13 a causa di un ridotto apporto meteorico medio sia annuo che estivo e per una temperatura media del mese più freddo più elevata; questa unità fitoclimatica è caratterizzata da precipitazioni meno abbondanti (593-811 mm) con pochi episodi estivi (53-71 mm), aridità estiva intensa e prolungata (maggio-agosto) con un mese di subaridità; è definita come: "termotipo mesomediterraneo inferiore, ombrotipo secco superiore/subumido inferiore, regione xeroterica, sottoregione termomediterranea/mesomediterranea. La vegetazione forestale prevalente è costituita da querceti con roverella, leccio, sughera, cerrete con farnetto, macchia mediterranea con potenzialità per boschi con *Quercus robur* e *Fraxinus oxycarpa* [3].

Metodi

Campionamenti

La ricerca sul monitoraggio microclimatico è stata effettuata nei diversi tipi forestali presenti in Tenuta e lungo un transetto spiaggia-duna-macchia – bosco sempreverde.

I parametri misurati sono:

- temperatura e umidità dell'aria (T in °C e U%)
- temperatura del suolo (T in °C)
- radiazione fotosinteticamente attiva (PAR in Watt/m²/sec).

Le misurazioni, eseguite secondo criteri standard [2], sono state effettuate con cadenza mensile in 21 stazioni (Fig. 1) rappresentative delle associazioni boschive e di quelle comprese nel transetto dunale; per ogni stazione le misure sono state prese in 5 punti per avere dei *replicat* che consentano un corretto trattamento statistico dei dati. Ogni misurazione è stata effettuata a 3 livelli: a 25 cm di profondità

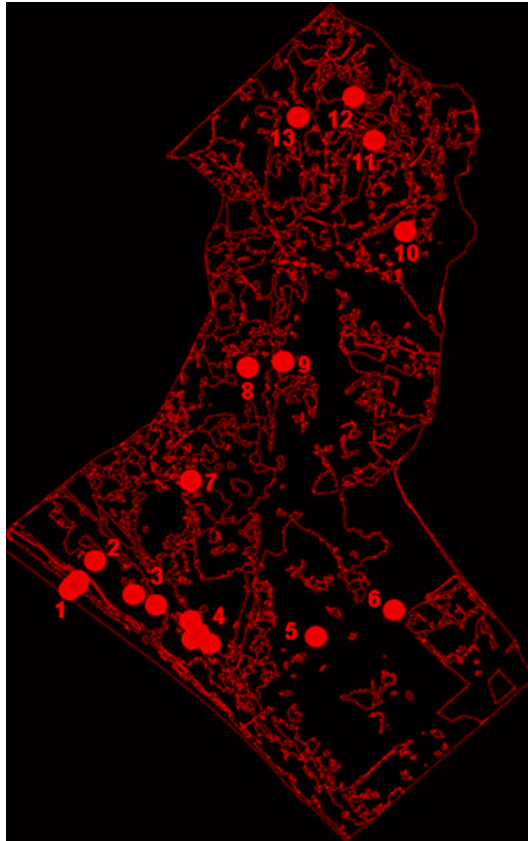


Fig. 1. Localizzazione delle stazioni microclimatiche. 1: serie della duna; 2: lecceta arbustiva retrodunale; 3: lecceta alto fusto 1 e 2 (Capocotta); 4: frassineti 1, 2, 3, 4 (Capocotta); 5: cerreta a *Carpinus orientalis* 2 (Tellinara); 6: cerreta a *Carpinus betulus* (Capocotta); 7: sughereta mista a cerro (Scopone); 8: cerreta a *Erica arborea* 2 (Figurella); 9: cerreta a *Carpinus orientalis* 1 (Banditella); 10: cerreta a *Erica arborea* 1 (strada per V. Renaro); 11: lauro-carpineto 1 (Valle Renaro); 12: lauro-carpineto 2 (Valle Renaro); 13: sughereta a *Stipa bromoides* (Spagnoletta). In appendice sono riportate in tabella 4 le associazioni vegetali e le unità geomorfologiche corrispondenti alle stazioni microclimatiche.

nel suolo, a livello del suolo e a 150 cm dallo stesso. Sono state effettuate mediamente 870 misurazioni mensili, per un totale complessivo di 10456 rilevazioni nell'intero periodo d'osservazione (2003 e biennio 2007-2008).

Elaborazione dei dati raccolti

I dati sono stati elaborati utilizzando diversi trattamenti statistici:

1) *Analisi della varianza* per evidenziare le variazioni dei parametri nelle singole comunità;

2) *Analisi degli scarti* dei valori dei parametri microclimatici dalle centraline meteo della Tenuta (Castello e Tor Paterno) per testare il grado di omeostasi delle diverse comunità;

3) *Analisi statistica multivariata: Cluster Analysis* per la classificazione del set di dati.

Risultati e discussioni

Classificazioni dei microclimi

A1. *I dati mensili* (Tabella 1 in appendice) presentano un andamento dei parametri – T° aria, T° suolo, U% aria, PAR – secondo quanto atteso nelle diverse stagioni, riflettendo ampiamente i patterns del clima regionale e gli effetti della topografia [14]:

– I minimi di temperatura e umidità dell'aria misurate al suolo si registrano nei mesi invernali di dicembre, gennaio e febbraio;

– i massimi della T° dell'aria in estate (luglio).

Per quanto riguarda la radiazione (PAR) l'andamento dei valori riflette la tipologia del bosco: se è sempreverde – leccete e sugherete – il massimo è ad aprile, se è deciduo i valori cambiano nei diversi boschi: nei frassineti il valore più elevato di PAR è a gennaio, nelle cerrete con *Carpinus betulus* e *Carpinus orientalis* a marzo, nelle cerrete con *Erica arborea* ad aprile.

Per la T° del suolo, tutte le associazioni della serie della duna e le leccete presentano i valori più bassi in gennaio e i massimi in luglio; le sugherete hanno i minimi in febbraio e i massimi in settembre; nei lauro-carpineti la minima si registra in dicembre e la massima in luglio; le cerrete a *Carpinus* spp. presentano la minima in febbraio e la massima in settembre; quelle a *Erica arborea* e i frassineti a *Fraxinus oxycarpa* presentano la minima in gennaio e la massima in settembre.

Sono state osservate alcune anomalie negli andamenti mensili dei parametri: nel mese di marzo si registra una diminuzione di T° aria al suolo in alcune delle associazioni forestali monitorate: nei frassineti, nelle cerrete ad erica e nei lauro-carpineti.

A2. *Transetto spiaggia-duna-macchia bassa-macchia alta-lecceta*. I dati medi annui mettono in evidenza la capacità omeostatica connessa con l'aumento della complessità della struttura [9, 13], procedendo nella serie della spiaggia – cachileto, ammofileto, junipereto – alla lecceta.

I valori medi annui (Tabella 2 in appendice) di temperatura dell'aria e del suolo (Fig. 2) evidenziano l'esistenza di un gradiente termico che decresce linearmente dalla spiaggia verso l'interno con l'eccezione della macchia a *Juniperus oxycedrus* var. *macrocarpa* in cui si osserva un lieve aumento della temperatura di 0.4°C nel suolo. Anche i valori di umidità (U%) mostrano un aumento altrettanto lineare dalla spiaggia alla lecceta. La PAR mostra un andamento decrescente dalla spiaggia verso l'interno, con un minimo nella lecceta ad alto fusto.

Il gradiente lineare osservato riflette i cambiamenti lungo la successione della vegetazione dunale:

– L'Agropireto è un'associazione pioniera che svolge il primo effetto tampone sul clima della spiaggia dove la vegetazione è assente; è la prima associazione edificatrice grazie ai due meccanismi di espansione: semi e stoloni [7; 11].

– L'Ammofileto, in virtù della sua struttura più chiusa e cespitosa rispetto all'agropireto, induce un ulteriore abbassamento delle temperature; anche i valori della PAR risultano più bassi rispetto a quelli dell'agropireto.

– Nella macchia a ginepro si crea una discontinuità lungo il gradiente: i valori più alti di temperatura del suolo possono essere spiegati in base ai processi di decomposizione e di mineralizzazione della sostanza organica; qui infatti iniziano i

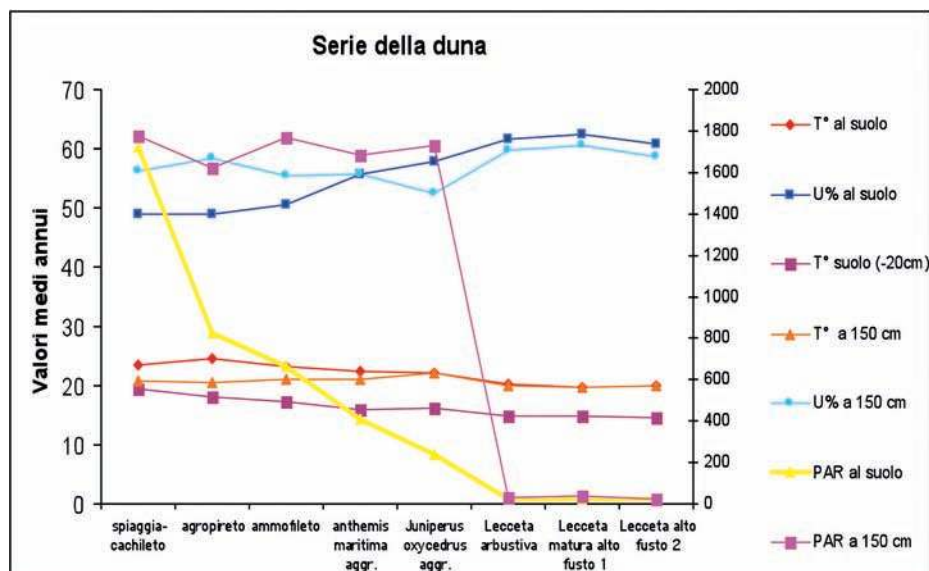


Fig. 2. Andamento dei parametri microclimatici nella serie della duna.

primi processi pedogenetici. Lungo il gradiente seguono la lecceta arbustiva e quella ad alto fusto.

1) Cenosi forestali

I valori dei parametri microclimatici discriminano le cenosi forestali in esame.

Ordinando i dati secondo valori crescenti di temperatura dell'aria (Tab. 1) si osserva che, fatta eccezione per la Sughereta a *Stipa bromoides*, i boschi più freschi sono i lauro-carpineti, seguiti dai frassineti e dalla cerreta a *Carpinus orientalis*, che risulta più fresca probabilmente per la vicinanza al fosso del Tellinaro; infatti è quella che presenta valori di umidità dell'aria più elevati. I boschi più caldi sono le cerrete con *Erica arborea*.

Il Lauro-Carpineto risulta dunque il bosco più fresco sia per la temperatura dell'aria che del suolo, con valori intermedi di umidità. I siti campionati in questo tipo di foresta nella zona di Valle Renaro mostrano differenze nei valori della radiazione fotosinteticamente attiva (PAR): i valori più bassi corrispondono ad una struttura della vegetazione più chiusa (22.7 Watt/m²/sec), mentre valori più alti

Tab. 1. Valori medi annui dei parametri nei diversi boschi. I boschi sono ordinati secondo valori crescenti di T° aria al suolo.

MEDIE ANNUE	T° al suolo	U% al suolo	T° suolo (-20cm)	T° 150 cm	U% 150 cm	PAR al suolo	PAR 150 cm
Sughereta a <i>Stipa</i> -Spagnoletta	18,0	62,5	13,3	17,9	58,4	40,5	55,7
LC1-Valle Renaro	18,1	59,6	12,9	18,0	52,8	22,7	23,7
LC2-Valle Renaro	18,3	52,3	12,8	18,4	49,8	85,3	101,5
Frassineto 4	18,4	62,0	14,0	18,5	60,6	76,8	79,5
Cerreta <i>Carpinus orientalis</i> 2-Tellinaro	18,7	64,0	14,3	18,5	63,1	42,8	52,1
Frassineto 3	18,8	61,1	14,5	18,6	59,1	97,6	113,7
Cerreta <i>Erica arborea</i> 1-strada per V. Renaro	18,9	53,1	13,8	18,6	49,3	48,7	55,6
Frassineto 2	18,9	60,8	14,4	18,6	59,0	106,9	121,3
Cerreta <i>Carpinus betulus</i> 1-Capocotta	19,3	58,1	14,2	18,9	56,7	60,3	81,8
Frassineto 1	19,8	59,5	14,7	19,1	59,0	315,8	336,6
Lecceta alto fusto 2	20,0	60,9	14,6	19,9	58,6	19,5	26,4
Cerreta <i>Carpinus orientalis</i> 1-Banditella	20,7	55,0	14,6	20,4	54,5	128,1	163,1
Sughereta mista-Scopeone	21,0	53,8	14,6	20,8	49,9	83,9	111,4
Cerreta <i>Erica arborea</i> 2-Figurella	21,1	53,9	14,8	25,3	51,9	44,6	65,1

(85.3 Watt/m²/sec) sono stati registrati dove si osserva una discreta presenza di alberi caduti al suolo con il conseguente diradamento della copertura arborea.

Anche per la temperatura del suolo i boschi risultano ordinati secondo lo stesso gradiente prima descritto. I valori di U% dell'aria invece non presentano un gradiente lineare.

Riassumendo i risultati (Tab. 1), risulta che le cenosi forestali della Tenuta seguono un gradiente lineare di temperatura crescente (Tabella 3 in appendice):

1. lauro-carpineti
2. frassineti
3. cerrete a *Carpinus betulus*
4. sugherete
5. cerrete a *Carpinus orientalis*
6. leccete
7. cerrete a *Erica arborea*

Si possono trarre alcune considerazioni generali:

1) la temperatura ha un andamento lineare, mentre umidità e PAR mostrano variabilità:

2) lungo il gradiente di temperatura le sugherete occupano una posizione intermedia e anche per gli altri parametri si possono confermare le condizioni di mesofilia e umidità che rispecchiano le esigenze autoecologiche di *Quercus suber* ampiamente descritte in letteratura [5, 6];

3) il frassinetto, fresco e umido, presenta i valori più elevati di PAR: evidentemente la quantità maggiore di radiazione che entra in questo bosco durante la stagione invernale pesa sul bilancio medio annuo, evidenziando la relazione esistente tra microclima e fenologia; infatti questo tipo di bosco presenta già in ottobre un *habitus* invernale che mantiene fino ad aprile;

4) la cerreta con *Carpinus betulus* invece ha un valore basso di PAR, pur essendo un bosco deciduo come il frassinetto. Questo ultimo dato risulta particolarmente interessante in quanto indica il permanere di un *habitus* parzialmente estivo in questo bosco, confermando quanto già emerso dalle ricerche precedenti effettuate in Tenuta [17];

5) la lecceta risulta termofila, umida e sciafila; i bassi valori di PAR qui registrati sono dovuti alla struttura chiusa di questo bosco sempreverde che si distingue per questo dalla sughereta;

6) la cerreta con *Erica arborea* risulta il bosco più caldo e arido.

2) Variabilità dei parametri nelle comunità (Analisi della varianza)

Considerando tutti i boschi, si nota che per T° aria sia al suolo che a 150 cm, le sugherete e la cerreta a erica presentano i valori più alti di varianza, mentre i frassineti quelli minori; intermedi gli altri boschi.

Per U% sia al suolo che a 150 cm il lauro-carpinetto presenta la maggiore variabilità, mentre la cerreta ad erica la più bassa.

Per T° del suolo la lecceta e la sughereta presentano valori più alti di variabilità, mentre i più bassi si osservano nel frassineto.

Per la PAR sia al suolo che a 150 cm, frassineti e cerreta a *Carpinus orientalis* presentano la variabilità più alta e le leccete la più bassa.

Interessante notare che in buona parte della vegetazione caducifoglia, nei frassineti e nelle cerrete a *C. orientalis*, il parametro T° del suolo è quello che mostra valori più bassi di variabilità, mentre la PAR quelli più alti; le variazioni si enfatizzano prima dell'inizio della ricostituzione della *canopy* in primavera e diminuiscono nella stagione successiva.

Inoltre quando manca la *canopy* si è osservato che il valore di U% diminuisce e quello di PAR aumenta: infatti questi due parametri risultano altamente e significativamente correlati (coefficiente di correlazione: -0.76).

Considerando la serie della duna, la variabilità maggiore di T°, U% e PAR è mostrata dal cachileto (spiaggia), quella minore dalla lecceta arbustiva.

Tabella riassuntiva della variabilità dei parametri:

(varianza max: +++; varianza min: +; varianza intermedia: ++)

COMUNITÀ	T° aria	U%	T° suolo	PAR
Sughereta	+++		+++	
Lecceta			+++	+
Cerreta a <i>Carpinus orientalis</i>				+++
Cerreta a <i>Carpinus betulus</i>				
Cerreta a <i>Erica arborea</i>	+++	+		
Frassineto	+		+	+++
Lauro-Carpineto		+++		
Lecceta arbustiva	+		+	+
Aggr. a <i>Juniperus oxycedrus</i>				
Aggr. ad <i>Anthemis maritima</i>				
Ammofileto		++		++
Agropireto	++	+	+++	
Cachileto	+++	+++		+++

3) Differenze tra i microclimi

DELTA ANNUALI E STAGIONALI DEI BOSCHI RISPETTO ALLE CENTRALINE METEO
(Tor Paterno e Castello)

Per distinguere i diversi microclimi delle associazioni rispetto agli standard di riferimento (centraline meteo della Tenuta) sono stati calcolati gli scarti medi annuali (Tab. 2) da cui è emerso:

– T° dell'aria al suolo: gli estremi sono i frassineti e i lauro-carpineti che sono risultati i più freschi, mentre le cerrete ad erica le più calde;

– U% al suolo: gli estremi sono cerreta ad erica e lauro-caripineto (stazione 1 del 2003), i più aridi, con gli scarti minimi dalle centraline meteo; all'altro estremo i frassineti e la lecceta ad alto fusto matura, i più umidi.

– T° suolo: le cerrete a carpini e ad erica hanno i suoli meno tamponati e più caldi.

Per i frassineti che costituiscono stazioni aggiuntive rispetto al 2003 si osserva un gradiente lineare di umidità crescente da aprile in poi (vedi in Tab. 2 scarti dalla stazione meteo di Castello): nei mesi di dicembre, gennaio e marzo il segno della deviazione si inverte e il frassineto risulta più arido. Evidentemente c'è un fenomeno di riscaldamento dell'aria (sia al suolo che a 150 cm) in relazione all'aumento della radiazione, confermata dal valore di correlazione elevato tra PAR e umidità (0.76).

Per descrivere i periodi dell'anno critici per ogni tipo di bosco e verificare gli eventuali cambiamenti rispetto al 2003, sono stati calcolati gli scarti stagionali dalle centraline (Tab. 2):

Cerreta con Erica arborea

T° aria: delta massimo in inverno e minimo in estate;

U%: massimo in primavera e minimo in autunno;

T° suolo: massimo in estate, minimo in inverno.

Cerreta con Carpinus orientalis

T° aria: delta massimo in autunno e minimo in estate;

U%: massimo in autunno e minimo in inverno;

T° suolo: massimo in estate, minimo in autunno.

Cerreta con Carpinus betulus

T° aria: delta massimo in primavera e minimo in estate;

U%: massimo in estate e minimo in primavera;

T° suolo: massimo in estate, minimo in inverno.

Lauro-Carpineto

T° aria: delta massimo in primavera e minimo in estate;

U%: massimo in estate e minimo in primavera;

T° suolo: massimo in estate, minimo in inverno.

Lecceta

T° aria: delta massimo in autunno e minimo in inverno;

U%: massimo in inverno e minimo in estate;

T° suolo: massimo in estate, minimo in inverno.

Sughereta

T° aria: delta massimo in primavera e minimo in inverno;

U%: massimo in estate e minimo in inverno;

T° suolo: massimo in estate, minimo in inverno.

Tab. 2. Andamenti stagionali degli scarti ($\bar{\Delta}$ stagionali) dalle stazioni meteo di Tor Paterno e Castello.

	Tor Paterno				Castello			
	Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Autunno	Inverno	Primavera	Estate
<i>Cerreta con Erica arborea</i>								
T suolo	-1,2	0,9	-8,0	-10,9	-1,0	0,4	-6,8	-5,2
T aria °C	3,9	7,7	-3,0	1,0	0,3	4,5	-6,2	-1,1
U aria %	3,1	-8,2	-11,8	-15,1	14,2	-18,5	4,3	7,6
<i>Cerreta con Carpinus orientalis</i>								
T suolo	0,5	0,3	-7,8	-10,7	0,7	-0,2	-6,6	-5,0
T aria °C	4,1	0,8	-3,1	-0,7	0,5	-2,4	-6,3	-2,7
U aria %	11,7	-3,6	-8,3	-5,0	22,9	-13,9	7,8	17,6
<i>Cerreta con Carpinus betulus</i>								
T suolo	-0,8	0,0	-7,7	-10,3	-0,6	-0,6	-6,6	-4,7
T aria °C	2,3	0,8	-3,6	-0,4	-1,3	-2,4	-6,8	-2,5
U aria %	12,2	-7,1	-4,7	-13,7	23,3	-17,4	11,4	8,9
<i>Lauro-carpineto</i>								
T suolo	-2,1	-1,1	-9,6	-11,1	-1,9	-1,6	-8,4	-5,4
T aria °C	1,9	-0,6	-3,7	0,2	-1,7	-3,8	-6,9	-1,9
U aria %	10,5	-17,1	-8,6	-23,4	21,6	-27,4	7,6	-0,8
<i>Lecceta</i>								
T suolo	-1,2	-0,3	-7,5	-9,7	-1,0	-0,9	-6,4	-4,1
T aria °C	4,6	0,2	-2,9	-0,5	1,0	-3,1	-6,1	-2,6
U aria %	-2,0	-4,3	-4,2	1,9	9,1	-14,7	12,0	24,5
<i>Sughereta</i>								
T suolo	-0,7	-0,5	-8,5	-10,6	-0,5	-1,1	-7,4	-4,9
T aria °C	2,7	-0,9	-3,7	1,1	-0,9	-4,1	-6,9	-1,0
U aria %	4,0	-2,6	-10,5	-10,9	15,1	-13,0	5,7	11,7
<i>Frassineto</i>								
T suolo	-2,6	0,6	-7,4	-10,7	-2,4	0,0	-6,3	-5,0
T aria °C	2,6	1,0	-4,8	-2,2	-1,0	-2,2	-7,9	-4,3
U aria %	0,5	-3,0	-5,0	-1,9	11,6	-13,3	11,1	20,8

Frassineto

T° aria: delta massimo in primavera e minimo in inverno;

U%: massimo in primavera e minimo in autunno;

T° suolo: massimo in estate, minimo in inverno.

I periodi critici individuati per ogni associazione sono cambiati rispetto al 2003; in particolare il lauro-carpineto, che rappresentava il bosco con il microclima più differenziato, con gli scarti massimi dalla centralina, è attualmente quello con i

valori più prossimi a quelli della centralina e in estate perde la sua condizione di forte omeostasi: nel 2003 presentava in estate gli scarti massimi, nel 2007-2008 quelli minimi.

4) Confronto con il 2003 basato sui valori medi annuali dei parametri

Tutti gli andamenti annuali nei boschi sono cambiati rispetto al 2003 (Fig. 3):

T° aria: il bosco più caldo è la cerreta con erica che nel 2003 era intermedia tra lauro-carpineto e sughereta; la sughereta resta intermedia; il lauro-carpineto e il frassineto rimangono comunque i boschi più freschi.

U%: tutti i boschi mostrano tendenza verso la xericità: rispetto al 2003 il lauro-carpineto perde un 18% di Umidità diventando *il bosco più arido*; mentre il frassineto resta il più umido, pur perdendo il 10%; la lecceta è umida ma perde comunque un 12%; la sughereta perde l'8%, la cerreta con Erica perde 10%; cerrete con carpini perdono 12%.

T° suolo: i suoli più caldi sono nella lecceta e cerreta con carpino orientale, i più freschi nel lauro-carpineto, segue la sughereta; rispetto al 2003 le T° del suolo si abbassano; probabilmente in relazione al processo di crescente xerofilia osservata, le capacità omeostatiche del suolo si accentuano.

PAR: la lecceta resta con i valori più bassi, mentre i valori più alti sono nel frassineto; la cerreta con erica diventa più sciafila passando da 72 a 53 Watt/m²/sec; il lauro-carpineto diventa più eliofilo passando da 60 a 93 Watt/m²/sec. ed è il bosco più a rischio.

È evidente la generale tendenza nei boschi di diminuzione di U% aria, aumento della PAR e diminuzione della T° dell'aria e del suolo.

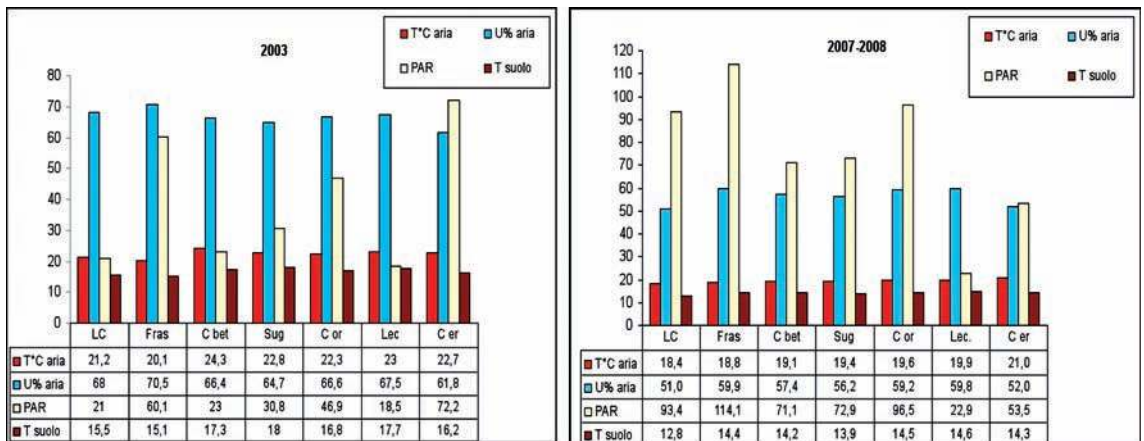


Fig. 3. Valori medi di T° aria, U% aria, PAR, T° suolo registrati nel 2003 e nel 2007-2008. LC- lauro-carpineto; Fras – Frassineto; C bet – Cerreta a *Carpinus betulus*; Sugh – Sughereta; C or – Cerreta a *Carpinus orientalis*; Lec – Lecceta; C er – Cerreta a *Erica arborea*.

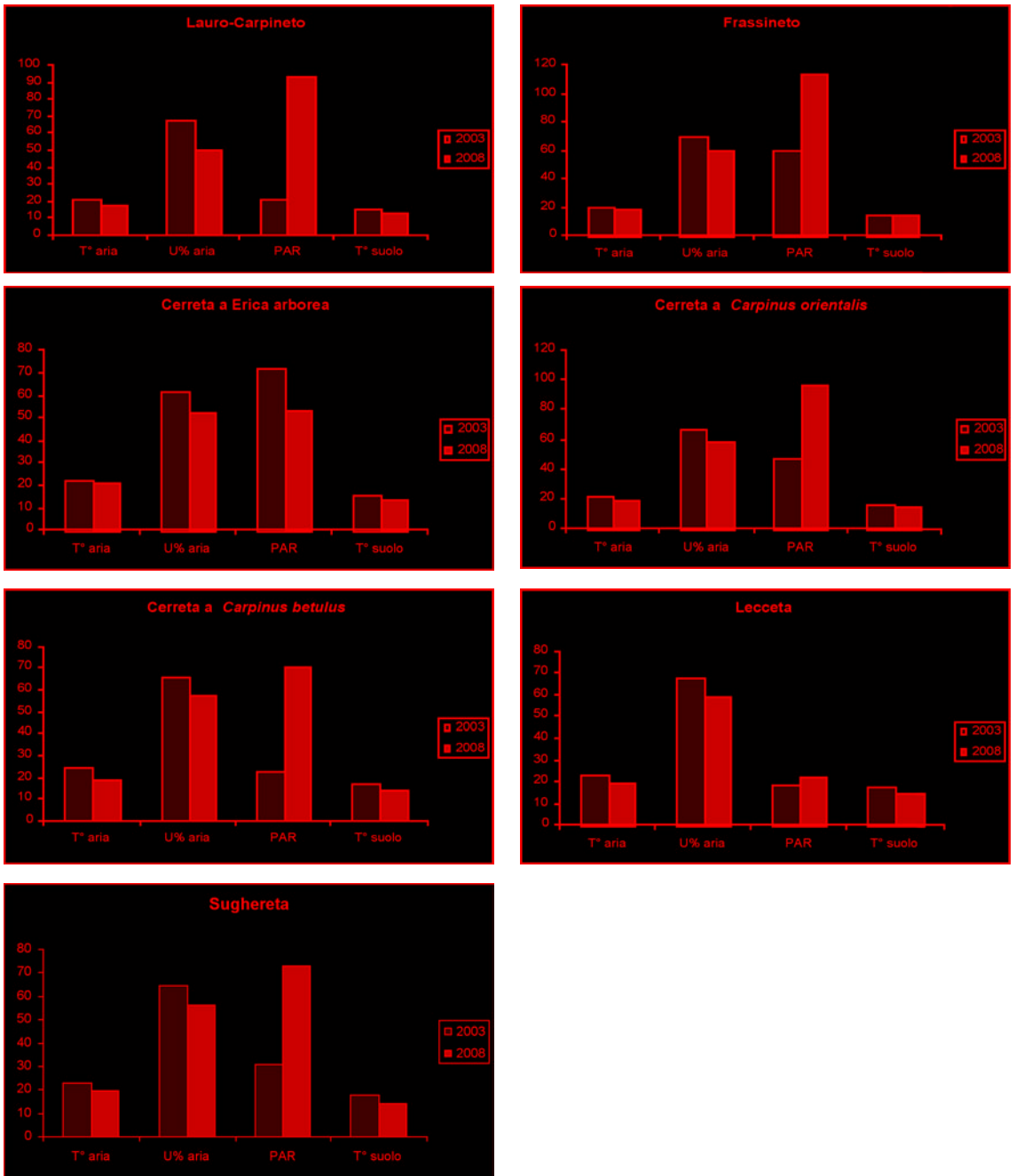


Fig. 4. Confronto dei valori medi di T° aria, U% aria, PAR, T° suolo tra il 2003 – in grigio e il biennio 2007-2008 – in nero.

Tutti i boschi diventano più aridi, con maggiore irradianza, ma più freschi, con suoli che presentano temperature di 1-4 gradi in meno (Fig. 4).

5) Confronto 2003/2008 basato sui valori degli scarti medi annuali (Fig. 5)

Si osserva che i valori dei delta medi annui sono drasticamente diminuiti nel 2008 relativamente alla centralina di Tor Paterno: tutte le stazioni boschive tendono ad avvicinarsi ai valori delle centraline considerate, sia di Tor Paterno che di Castello, perdendo la caratterizzazione microclimatica che le discriminava.

In particolare rispetto a Tor Paterno gli scarti sia di T° aria che di U% sono fortemente ridotti e per la maggior parte delle stazioni invertiti: solo la lecceta e la cerreta a *Carpinus betulus* mantengono uno scarto negativo per T° e positivo per U%, cioè conservano condizioni di minore termofilia e maggiore umidità rispetto alla centralina, come ci si aspetta da un bosco che mantiene la sua omeostasi.

Nel lauro-carpineto la riduzione dello scarto di U% è drastica, passando da 24.3 a -9.7. Anche per T° lo scarto scende da -7.9 a -0.6.

Per avere conferma della drastica riduzione osservata nei valori degli scarti da Tor Paterno rispetto al 2003, abbiamo considerato anche un'altra centralina

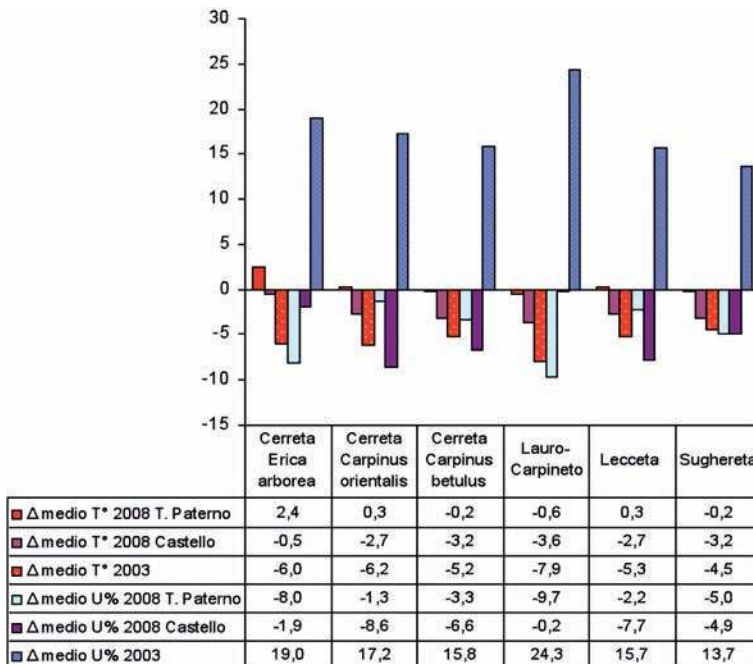


Fig. 5. Valori degli scarti di T° e U% dei boschi dalle centraline di Tor Paterno per il 2003 e di Castello per il biennio 2007-2008.

(Castello) che fosse meno influenzata dalla presenza della piscina. Dai calcoli effettuati risulta che i valori degli scarti da questa seconda centralina meteo della Tenuta sono comunque elevati, *confermando la tendenza per tutti i boschi ad una riduzione di umidità e un aumento dei valori di temperatura.*

6) Analisi multivariata

La cluster analysis (Fig. 6) effettuata utilizzando il Complete Link sul set dei dati microclimatici raccolti nelle diverse stazioni della Tenuta discrimina le cenosi studiate ripartendole in gruppi coerenti che riflettono gli stessi *clusters* ottenuti in

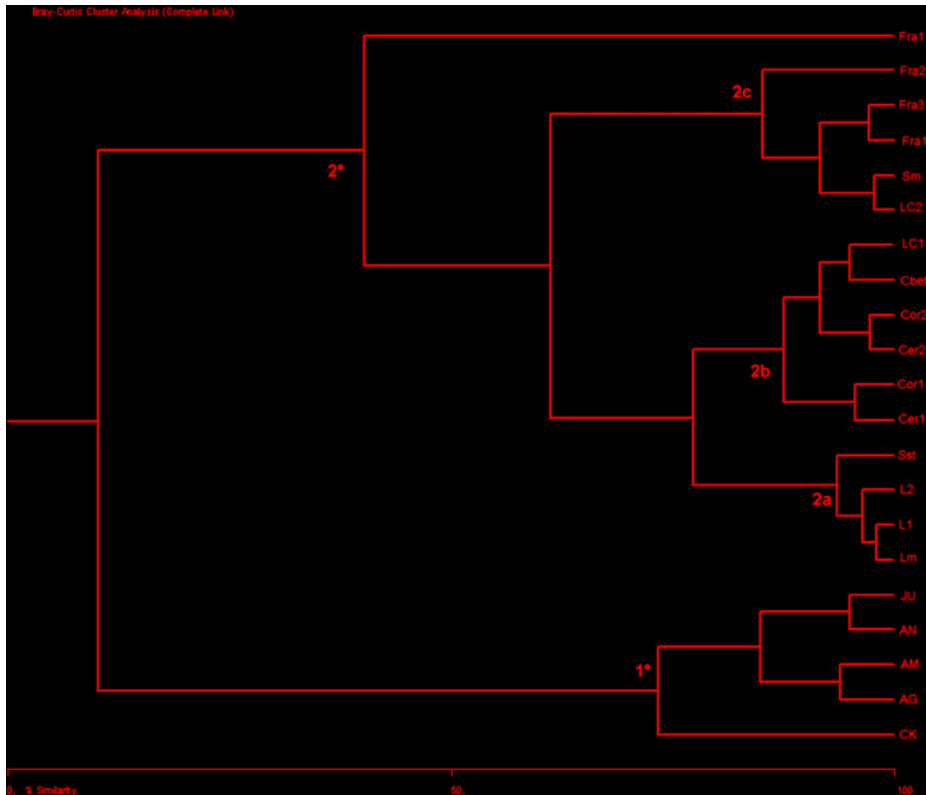


Fig. 6. Dendrogramma ottenuto dalla Cluster Analysis: cluster 1 con la serie della duna; cluster 2 con tutti i boschi. Il subcluster 2a: leccete e sughereta a *Stipa bromoides*; 2b: cerrete e lauro-carpineto 1; 2c: frassineti, sughereta mista e lauro-carpineto 2. Legenda: CK cachileto, AG agropireto, AM ammofileto, An *Anthemis maritima* aggr., JU *Juniperus oxycedrus macrocarpa* aggr., Lm lecceta arbustiva, L lecceta alto fusto, Cer cerreta a *Erica arborea*, Cor cerreta a *Carpinus orientalis*, Cbet cerreta a *C.betulus*, Sst sughereta a *Stipa*, Sm sughereta mista, LC lauro-carpineto, Fra frassineto.

base alle differenze floristiche [12]. Si identificano due gruppi principali di stazioni: nel primo gruppo la serie della duna in successione lineare dalla spiaggia alla comunità a *Juniperus oxycedrus macrocarpa*, nel secondo gruppo sono riuniti tutti i boschi. Il secondo cluster è ulteriormente divisibile in 3 subclusters: a) leccete e sughereta a *Stipa bromoides*; b) cerrete e 1 lauro-carpineti; c) frassineti, la sughereta mista di Scopone nei pressi dell'omonima piscina e il secondo lauro-carpineti.

Conclusioni

I risultati emersi dai tre anni di monitoraggio microclimatico effettuato nella Tenuta hanno messo in luce come il microclima costituisca un valido ed efficace strumento per diagnosticare lo *status* ecologico delle specie e delle comunità e per seguirne i cambiamenti temporali. Nell'elaborazione dei dati raccolti, si vuole sottolineare come una semplice operazione matematica utilizzata per calcolare le deviazioni dei parametri microclimatici delle comunità dai valori delle centraline meteo della Tenuta, che rappresentano il mesoclima dell'area, abbia potuto evidenziare la tendenza diffusa in tutti i boschi verso condizioni di xerofilia. Il bosco più resistente è la lecceta, quello più vulnerabile è il lauro-carpineti che occupa le forre di Valle Renaro, lembo residuo di un ecosistema forestale un tempo ben più esteso e diffuso nel Lazio, che risulta dalla nostra indagine il più minacciato dalle attuali alterazioni climatiche. Infatti questo tipo di vegetazione sopravvive in virtù dell'elevata umidità dell'aria, favorita sia dalla geomorfologia della zona che dagli elevati tassi di evapotraspirazione del suolo e dei vegetali. Evidentemente, in relazione alla diminuzione delle precipitazioni annuali e ad un aumento delle temperature, il ristagno di nebbie tende a essere meno accentuato, per cui il bosco a lauro e carpino di Valle Renaro perde il 18% di umidità, invertendo la sua posizione nel gradiente e diventando il bosco più arido. Un cambiamento così visibile in un arco temporale molto breve rappresenta senza dubbio un risultato inatteso e imprevedibile.

APPENDICE

Tab. 1. Valori medi mensili dei parametri per tutte le stazioni.

spiaggia-cachileto	T° al suolo	U% al suolo	PAR al suolo	T° suolo (-20cm)	T° 150 cm	U% 150 cm	PAR 150 cm
ott	24,2	58,7	1054,3	19,3	21,6	67,6	1121,5
nov	20,0	61,5	562,3	14,6			772,3
dic	13,0	46,1	983,3	8,4	13,2	46,4	968,8
gen	15,5	37,5	1285,0	8,0	12,0	44,4	1277,2
feb	13,8	26,8	1343,9	9,7	12,9	26,6	1413,6
mar	19,1	58,1	1755,0	16,1	16,3	67,1	1886,4
apr	21,3	47,6	2166,7	19,4	16,1	57,5	2150,0
mag	26,2	44,9	2256,0	22,2	21,8	55,0	2306,7
giu	30,4	50,9	2366,0	25,4	25,4	59,4	2374,0
lug	34,3	52,2	2215,7	30,5	29,1	69,0	2260,0
ago	31,7	51,7	2263,3	30,4	30,1	67,3	2342,0
set	34,2	49,2	2376,7	28,9	29,7	59,4	2403,3
agropireto	T° al suolo	U% al suolo	PAR al suolo	T° suolo (-20cm)	T° 150 cm	U% 150 cm	PAR 150 cm
ott	23,9	62,3	463,7	16,7	20,7	71,6	661,8
nov	18,4	59,5	408,8	11,9	17,6	62,1	622,1
dic	12,8	45,5	961,8	8,0	12,4	44,1	1057,8
gen	17,2	36,3	1197,5	7,2	12,5	43,6	1210,0
feb	15,5	63,6	436,0	11,5	13,4	67,2	1164,3
mar	19,8	51,7	1275,9	15,3	17,4	63,0	2006,4
apr	24,3	40,1	1144,8	16,8	16,2	54,0	2271,7
mag	27,3	40,4	1742,3	21,6	22,2	48,3	2218,0
giu	29,8	50,3	796,0	25,0	26,0	58,2	2311,7
lug	37,9	41,0	760,3	31,6	31,0	63,9	2206,7
ago	36,5	43,6	774,4	29,7	30,8	67,3	2333,3
set	37,4	40,9	384,5	28,9	29,4	54,2	2380,0
ammofileto	T° al suolo	U% al suolo	PAR al suolo	T° suolo (-20cm)	T° 150 cm	U% 150 cm	PAR 150 cm
ott	22,0	67,8	585,0	17,8	20,7	71,1	560,8
nov	19,1	64,8	543,6	14,2	19,2	62,7	599,6
dic	14,2	44,0	1199,8	8,5	13,0	45,5	1266,3
gen	15,9	36,2	1298,5	7,6	13,5	40,6	1256,3
feb	13,9	27,9	1716,3	9,0	13,3	27,3	1406,0
mar	19,2	59,0	650,7	13,2	16,7	63,9	2057,8
apr	21,2	41,2	264,8	14,2	16,8	56,1	2593,3
mag	25,7	46,2	828,9	19,2	22,6	51,1	2181,7
giu	26,2	63,7	73,3	23,1	24,9	67,0	2322,5
lug	35,5	52,9	120,3	28,1	30,4	68,9	2296,4
ago	33,4	53,7	298,0	26,6	30,8	57,6	2316,0
set	33,0	50,4	382,6	27,1	30,6	54,3	2376,7

<i>anthemis maritima</i> aggruppamento	T° al suolo	U% al suolo	PAR al suolo	T° suolo (-20cm)	T° 150 cm	U% 150 cm	PAR 150 cm
ott	22,6	71,2	590,8	16,0	21,0	69,8	747,7
nov	17,7	63,0	573,5	11,0	20,0	56,0	1324,9
dic	14,2	44,0	1199,8	8,5	13,0	45,5	1266,3
gen	10,1	68,5	147,5	5,8	12,4	46,15	1230,2
feb	12,9	30,9	81,7	7,3	13,5	27,9	1223,1
mar	19,2	59,0	650,7	13,2	16,7	63,9	2039,8
apr	21,1	46,6	96,8	13,1	17,7	47,8	2088,0
mag	26,0	44,6	88,8	18,1	23,5	48,9	2170,0
giu	26,5	59,1	193,6	23,1	24,8	62,1	2273,3
lug	33,9	57,8	427,9	27,3	30,1	67,7	2230,0
ago	33,4	54,9	302,7	26,9	30,6	63,3	2294,0
set	34,5	46,2	166,2	25,5	30,3	56,2	2222,0
<i>Juniperus oxycedrus</i> aggr.	T° al suolo	U% al suolo	PAR al suolo	T° suolo (-20cm)	T° 150 cm	U% 150 cm	PAR 150 cm
ott	22,1	73,7	558,3	17,1	19,8	73,5	520,5
nov	21,6	57,6	996,5	13,9	21,4	56,4	1799,8
dic	13,7	44,6	281,0	7,7	14,3	41,3	1139,9
gen	15,9	41,5	301,6	7,4	14,0	40,5	1170,8
feb	14,3	31,6	60,5	8,4	13,6	27,0	1176,0
mar	17,1	63,2	50,5	12,4	15,7	63,5	1964,0
apr	18,6	59,5	30,3	13,0	20,8	50,3	2086,3
mag	24,6	54,8	76,4	17,3	26,1	48,2	2170,0
giu	25,9	62,1	42,1	21,5	26,9	56,2	2271,7
lug	30,5	67,1	27,8	25,2	31,5	61,3	2145,0
ago	30,5	66,3	25,3	25,0	32,7	54,1	2094,8
set	31,7	55,9	79,3	26,2	28,8	56,4	2191,8
Lecceta arbustiva	T° al suolo	U% al suolo	PAR al suolo	T° suolo (-20cm)	T° 150 cm	U% 150 cm	PAR 150 cm
ott	19,9	80,3	25,4	15,9	19,5	79,7	29,3
nov	19,2	63,2	19,9	12,3	19,3	60,3	22,0
dic	12,1	50,8	45,2	9,9	12,3	44,8	74,1
gen	11,7	57,8	10,9	8,2	11,6	52,9	10,2
feb	12,6	36,0	16,6	8,6	13,1	31,8	17,2
mar	16,2	70,7	22,9	10,4	15,9	69,6	26,8
apr	16,5	62,4	37,1	12,5	16,6	60,4	43,4
mag	22,4	59,9	35,0	14,6	21,0	59,9	32,6
giu	25,2	63,9	18,9	19,0	24,9	63,1	17,6
lug	28,7	72,0	20,7	22,0	28,8	71,7	19,5
ago	29,6	59,3	21,8	21,9	28,9	60,4	18,4
set	28,3	63,6	21,4	21,9	28,1	62,6	20,4
Lecceta matura alto fusto 1	T° al suolo	U% al suolo	PAR al suolo	T° suolo (-20cm)	T° 150 cm	U% 150 cm	PAR 150 cm
ott	19,2	76,1	29,8	15,8	19,1	72,9	30,3
nov	18,6	67,2	15,9	12,1	19,0	62,8	15,0

dic	11,9	54,9	14,1	9,8	12,2	46,7	135,5
gen	11,1	62,4	11,8	8,8	10,9	62,5	14,0
feb	12,6	35,4	20,6	9,6	13,0	32,5	20,7
mar	16,3	67,8	36,0	10,9	16,3	64,5	36,7
apr	16,9	59,8	36,3	12,5	16,6	59,1	53,8
mag	21,0	60,7	23,6	15,0	20,9	59,6	32,2
giu	25,2	64,7	21,7	18,7	25,1	63,3	33,4
lug	28,6	72,5	16,1	21,7	28,1	73,7	14,0
ago	29,0	62,7	20,2	22,0	29,0	62,2	21,4
set	27,0	65,8	19,7	21,9	27,1	66,3	20,3
Lecceta alto fusto 2	T° al suolo	U% al suolo	PAR al suolo	T° suolo (-20cm)	T° 150 cm	U% 150 cm	PAR 150 cm
ott							
nov	18,7	64,1	14,1	12,1	18,9	61,2	14,2
dic	11,7	57,3	10,0	8,9	12,0	51,4	11,3
gen	11,2	61,9	10,6	8,2	11,7	55,2	11,8
feb	12,4	37,6	12,3	9,4	13,1	30,5	11,9
mar	16,7	66,5	29,3	10,9	16,5	65,2	50,0
apr	17,7	60,8	38,9	12,4	16,0	60,5	73,8
mag	21,8	59,7	25,9	15,0	21,1	59,3	28,4
giu	25,4	61,8	18,8	19,0	24,7	62,8	22,3
lug	28,2	74,9	17,7	21,5	28,2	74,7	14,7
ago	29,9	57,8	17,4	22,0	29,9	57,7	17,9
set	26,7	66,9	19,4	21,7	26,6	66,7	33,7
Frassineto 1	T° al suolo	U% al suolo	PAR al suolo	T° suolo (-20cm)	T° 150 cm	U% 150 cm	PAR 150 cm
ott	20,2	74,8	47,7	16,3	19,5	76,2	53,4
nov	19,0	69,1	185,9	13,2	19,1	59,9	230,8
dic	13,2	46,6	551,3	10,4	13,4	43,6	873,8
gen	13,1	34,2	784,7	10,1	12,4	34,5	772,4
feb	15,4	63,3	1287,6	10,4	13,8	64,7	833,1
mar	15,8	55,9	483,3	11,6	14,2	60,2	505,5
apr	18,8	52,0	293,5	13,5	18,0	53,0	582,4
mag	22,1	57,8	41,2	14,8	20,1	63,0	52,2
giu	25,1	69,1	17,7	18,0	24,7	69,5	13,6
lug	26,9	58,3	15,6	20,2	26,4	56,7	14,8
ago	27,0	59,3	15,9	20,3	26,5	57,2	16,1
set	26,2	68,1	27,8	20,9	26,3	68,0	28,0
Frassineto 2	T° al suolo	U% al suolo	PAR al suolo	T° suolo (-20cm)	T° 150 cm	U% 150 cm	PAR 150 cm
ott	15,2	70,8	138,1	9,3	15,2	69,0	174,1
nov	18,8	63,9	94,7	12,9	18,9	62,3	113,6
dic	12,2	48,6	74,0	9,9	12,6	47,4	83,6
gen	11,4	39,0	141,8	9,2	11,7	36,1	81,6
feb	12,4	75,2	98,2	9,2	13,0	69,6	95,2
mar	12,0	62,0	161,4	10,0	11,9	59,9	158,6

apr	16,0	61,6	65,9	12,1	15,3	60,5	90,2
mag	20,0	63,7	41,6	14,4	20,0	64,1	44,4
giu	24,0	71,3	27,3	18,6	23,5	71,5	27,0
lug	26,1	59,1	24,4	20,9	26,3	58,5	25,0
ago	26,1	59,2	24,8	20,9	26,4	59,0	25,1
set	26,1	70,2	29,1	20,8	26,5	69,4	35,4
Frassineto 3	T° al suolo	U% al suolo	PAR al suolo	T° suolo (-20cm)	T° 150 cm	U% 150 cm	PAR 150 cm
ott	15,2	72,3	127,0	10,3	15,0	72,2	103,6
nov	18,7	64,6	196,8	12,9	18,9	61,9	174,4
dic	13,0	48,7	101,2	9,9	13,2	46,0	201,0
gen	12,8	33,3	410,5	10,0	12,4	30,6	448,0
feb	13,7	72,2	79,2	10,2	13,4	66,7	88,5
mar	12,0	62,3	89,0	11,1	11,8	61,9	
apr	17,6	59,9	67,2	12,5	16,0	57,1	137,1
mag	20,5	62,2	28,9	14,8	20,3	62,6	34,2
giu	23,9	71,1	21,9	18,4	23,7	70,9	21,3
lug	26,3	57,2	17,2	20,7	26,4	54,4	16,6
ago	26,3	57,2	17,5	20,7	26,4	54,6	17,1
set	26,5	69,2	36,4	20,8	26,3	68,9	39,9
Frassineto 4	T° al suolo	U% al suolo	PAR al suolo	T° suolo (-20cm)	T° 150 cm	U% 150 cm	PAR 150 cm
ott	15,1	72,5	106,7	10,0	15,1	71,4	115,8
nov	18,9	67,8	192,7	12,9	18,6	63,5	221,0
dic	13,2	46,8	181,3	10,3	13,2	44,7	217,0
gen	12,5	30,7	236,8	9,8	12,7	30,3	199,4
feb	13,7	71,1	142,1	10,2	13,5	66,6	249,4
mar	12,0	60,6	85,7	11,6	11,7	60,1	97,5
apr	16,0	59,6	45,4	13,4	15,6	58,0	91,4
mag	21,0	62,6	24,8	15,0	20,4	62,9	17,6
giu	23,9	71,3	21,4	18,6	23,8	69,8	11,8
lug	26,1	57,4	11,0	20,6	26,2	55,5	8,8
ago	26,2	57,5	11,5	20,6	26,2	55,5	8,9
set	26,8	69,1	16,4	20,7	26,1	70,2	18,6
Sughereta a Stipa (Spagnoletta)	T° al suolo	U% al suolo	PAR al suolo	T° suolo (-20cm)	T° 150 cm	U% 150 cm	PAR 150 cm
ott	18,3	66,8	41,2	14,3	18,3	63,4	95,3
nov	16,0	78,5	39,9	12,6	15,7	77,6	30,6
dic	9,3	53,6	50,5	9,1	8,8	47,6	52,8
gen	9,4	55,7	41,9	8,8	9,7	42,9	38,7
feb	11,1	79,2	13,9	8,5	10,8	76,7	31,4
mar	13,5	57,8	56,4	9,7	13,4	55,1	71,9
apr	16,9	71,4	42,1	11,8	16,8	66,3	54,4
mag	22,0	43,3	38,7	13,7	21,9	40,4	61,2
giu	26,2	57,7	44,0	18,1	26,2	51,7	90,3
lug	30,4	56,6	33,6	20,4	29,9	55,2	43,6
ago	30,5	57,0	33,8	20,3	29,9	55,0	43,2
set	28,4	55,0	31,7	20,9	28,2	55,6	43,1

Cerreta <i>Carpinus orientalis</i> 1 (Banditella)	T° al suolo	U% al suolo	PAR al suolo	T° suolo (-20cm)	T° 150 cm	U% 150 cm	PAR 150 cm
ott	19,6	77,4	17,7	16,6	19,0	78,8	21,0
nov	19,1	62,0	105,2	12,6	19,0	61,4	119,3
dic	12,9	48,6	124,6	9,9	13,0	46,7	145,5
gen	11,9	35,2	389,9	9,5	11,8	32,7	450,4
feb	14,1	57,3	344,2	9,4	13,9	61,7	379,4
mar	18,3	52,0	432,1	11,0	16,8	53,4	693,3
apr	17,7	59,0	34,2	11,9	16,1	56,4	39,6
mag	20,4	48,7	15,2	14,4	20,5	45,5	16,3
giu	26,8	56,8	13,5	18,0	26,3	52,5	32,3
lug	30,0	51,7	19,9	20,2	29,8	51,2	13,3
ago	30,6	54,2	21,1	20,6	30,8	55,0	21,2
set	27,6	56,9	19,7	21,6	28,2	58,3	25,9
Cerreta <i>Erica arborea</i> 2 (Figurella)	T° al suolo	U% al suolo	PAR al suolo	T° suolo (-20cm)	T° 150 cm	U% 150 cm	PAR 150 cm
ott							
nov	19,6	60,4	108,6	13,2	20,0	56,9	91,0
dic	12,4	53,0	37,1	10,5	12,9	46,9	21,4
gen	10,8	42,7	53,6	9,4	11,6	34,0	69,4
feb	13,8	66,0	32,0	14,0	60,5	66,4	
mar	17,4	56,1	78,3	10,3	17,5	54,7	158,1
apr	18,0	57,2	79,4	11,8	17,0	58,1	116,2
mag	22,0	45,3	21,4	14,3	21,3	43,5	37,5
giu	26,9	54,7	12,9	17,8	26,9	53,0	27,8
lug	30,9	50,0	17,8	20,2	30,3	49,4	26,9
ago	31,4	52,2	20,5	20,6	31,4	53,4	30,6
set	29,3	55,6	29,2	21,3	29,4	54,4	72,1
Sughereta mista (Scopone)	T° al suolo	U% al suolo	PAR al suolo	T° suolo (-20cm)	T° 150 cm	U% 150 cm	PAR 150 cm
ott	20,7	88,2	49,8				70,6
nov							
dic	11,4	30,6	38,5	9,3	10,5	37,2	44,5
gen	12,6	30,7	38,3	9,1	12,7	28,1	39,5
feb	13,3	69,5	46,1	8,7	13,8	66,1	63,4
mar	16,6	57,9	61,7	10,3	16,5	57,5	92,1
apr	16,0	60,6	127,9	11,9	15,6	60,7	138,6
mag	21,3	42,3	114,8	14,2	21,2	42,2	205,2
giu	28,1	56,2	191,5	18,4	27,6	56,0	262,4
lug	30,9	48,1	101,6	21,2	30,6	45,4	137,9
ago	31,6	51,5	79,7	21,2	31,3	50,8	88,5
set	28,5	55,8	72,8	21,2	28,4	55,4	82,6
Cerreta <i>Erica arborea</i> 1 (strada per V. Renaro)	T° al suolo	U% al suolo	PAR al suolo	T° suolo (-20cm)	T° 150 cm	U% 150 cm	PAR 150 cm
ott							
nov	16,7	90,1	29,2	12,8	16,6	82,3	37,5
dic	8,5	49,1	61,6	9,4	8,0	42,3	88,0

gen	12,0	39,7	165,7	9,5	11,5	34,2	150,4
feb	13,6	35,2	31,4	9,5	13,6	31,8	35,7
mar	11,3	54,3	37,5	10,1	11,1	44,7	48,8
apr	18,5	74,3	95,4	12,8	18,1	72,7	116,8
mag	22,6	49,2	21,2	14,5	22,0	48,6	26,4
giu	27,5	50,5	13,7	18,2	27,0	48,8	15,0
lug	29,7	38,3	17,0	20,3	29,3	38,5	22,5
set	28,2	50,0	14,5	21,0	28,7	49,1	15,3
LC1 (Valle Renaro)	T° al suolo	U% al suolo	PAR al suolo	T° suolo (-20cm)	T° 150 cm	U% 150 cm	PAR 150 cm
ott	17,3	60,0	15,5	12,7	17,0	59,4	18,0
nov	15,9	93,0	48,7	11,4	15,4	94,7	73,4
dic	9,1	41,8	186,3	8,1	8,8	35,6	134,2
gen	11,2	40,1	195,1	8,6	11,2	35,8	106,0
feb	13,5	35,4	59,7	8,5	14,0	29,6	58,2
mar	12,1	46,4	140,1	9,3	12,2	44,4	205,0
apr	17,7	74,8	102,9	12,1	17,9	69,9	182,8
mag	20,6	58,9	52,7	10,7	21,2	56,6	88,6
giu	26,1	39,7	41,9	15,5	26,1	38,0	98,2
lug	29,4	36,5	37,4	22,0	29,1	37,4	80,4
set	28,8	48,4	58,5	21,7	29,0	46,7	71,6
LC2 (Valle Renaro)	T° al suolo	U% al suolo	PAR al suolo	T° suolo (-20cm)	T° 150 cm	U% 150 cm	PAR 150 cm
ott	18,5	76,3	15,5	11,7	16,9	58,9	17,4
nov	14,9	93,4	15,3	12,0	14,9	94,4	19,1
dic	8,8	48,9	29,2	7,7	9,1	38,9	33,1
gen	10,1	50,6	23,1	8,5	10,6	37,2	25,8
feb	13,5	33,9	20,7	7,9	13,6	31,0	24,5
mar	11,5	54,5	85,1	8,9	11,4	49,4	55,5
apr	18,2	72,8	30,2	12,5	18,5	70,5	42,6
mag	20,8	57,5	11,3	13,7	20,7	56,3	14,5
giu	25,7	57,3	10,6	18,4	25,8	54,7	11,9
lug	28,2	43,9	5,1	19,9	28,2	39,8	10,2
set	28,3	49,9	10,6	21,0	28,3	49,6	12,8
Cerreta <i>Carpinus betulus</i> (Capocotta)	T° al suolo	U% al suolo	PAR al suolo	T° suolo (-20cm)	T° 150 cm	U% 150 cm	PAR 150 cm
ott	20,0	77,8	9,9	16,1	19,4	79,7	11,2
nov	16,7	83,1	66,3	13,4	16,7	78,7	79,3
dic	12,4	48,7	59,1	9,4	12,7	45,9	80,2
gen	11,5	35,3	65,7	9,8	11,9	29,2	85,5
feb	14,2	62,6	86,1	9,1	13,8	56,2	89,1
mar	16,1	63,7	274,3	10,4	15,3	64,4	398,1
apr	16,6	58,4	40,5	12,5	15,6	56,7	62,6
mag	20,7	61,1	14,6	14,7	20,6	61,4	25,6
giu	27,4	50,4	14,0	19,2	27,1	50,2	19,5
lug	28,5	41,3	17,3	21,0	27,8	44,3	24,0
set	28,0	56,3	15,7	21,1	27,5	56,6	25,2

Cerreta <i>Carpinus orientalis</i> 2 (Tellinaro)	T° al suolo	U% al suolo	PAR al suolo	T° suolo (-20cm)	T° 150 cm	U% 150 cm	PAR 150 cm
ott	20,0	77,8	9,9	16,1	19,4	79,7	11,2
nov	16,5	92,2	41,4	13,5	16,5	93,2	38,3
dic	12,6	46,6	66,8	10,6	12,7	44,6	106,4
gen	12,0	32,3	62,3	9,9	12,0	30,1	86,0
feb	13,3	73,0	40,8	9,5	13,6	67,3	79,9
mar	15,4	69,1	173,4	10,9	15,1	69,2	172,5
apr	16,5	59,1	39,2	12,3	16,7	57,2	42,6
mag	21,3	62,3	8,5	14,4	20,8	61,7	8,5
giu	25,4	65,9	8,8	18,6	24,6	67,0	11,2
lug	26,5	57,0	7,2	20,6	26,0	55,1	6,4
set	26,5	69,0	12,3	21,2	26,4	69,5	10,6

Tab. 2. Valori medi annui dei parametri per tutte le stazioni.

MEDIE ANNUE	T° al suolo	U% al suolo	PAR al suolo	T° suolo (-20cm)	T° 150 cm	U% 150 cm	PAR 150 cm
spiaggia-cachileto	23,6	48,8	1719,0	19,4	20,8	56,3	1773,0
agropireto	24,6	48,8	827,3	18,2	20,5	58,4	1620,4
ammofileto	23,3	50,6	663,5	17,4	21,0	55,5	1769,4
<i>Anthemis maritima</i> aggr.	22,3	55,7	406,0	15,9	21,1	55,8	1681,3
<i>Juniperus oxycedrus</i> aggr.	22,2	57,8	237,5	16,3	22,1	52,4	1727,5
Lecceta arbustiva	20,2	61,7	24,7	14,8	20,0	59,8	27,6
Lecceta matura alto fusto 1	19,8	62,5	22,2	14,9	19,8	60,5	35,6
Lecceta alto fusto 2	20,0	60,9	19,5	14,6	19,9	58,6	26,4
Frassineto 1	19,8	59,5	315,8	14,7	19,1	59,0	336,6
Frassineto 2	18,4	62,0	76,8	14,0	18,5	60,6	79,5
Frassineto 3	18,9	60,8	106,9	14,4	18,6	59,0	121,3
Frassineto 4	18,8	61,1	97,6	14,5	18,6	59,1	113,7
Sughereta a <i>Stipa</i> -Spagnoletta	18,0	62,5	40,5	13,3	17,9	58,4	55,7
Sughereta mista-Scopone	21,0	53,8	83,9	14,6	20,8	49,9	111,4
Cerreta <i>Erica arborea</i> 2	21,1	53,9	44,6	14,8	25,3	51,9	65,1
Figurella							
Cerreta <i>Erica arborea</i> 1	18,9	53,1	48,7	13,8	18,6	49,3	55,6
strada per V. Renaro							
Cerreta <i>Carpinus orientalis</i> 1	20,7	55,0	128,1	14,6	20,4	54,5	163,1
Banditella							
Cerreta <i>Carpinus orientalis</i> 2	18,7	64,0	42,8	14,3	18,5	63,1	52,1
Tellinaro							
Cerreta <i>Carpinus betulus</i>	19,3	58,1	60,3	14,2	18,9	56,7	81,8
Capocotta							
LC1-Valle Renaro	18,3	52,3	85,3	12,8	18,4	49,8	101,5
LC2-Valle Renaro	18,1	59,6	22,7	12,9	18,0	52,8	23,7

Tab. 3. Valori medi annui delle cenosi forestali.

Cenosi forestali	T	U	PAR	T suolo	T	U	PAR
	al suolo	al suolo	al suolo	(-20cm)	150 cm	150 cm	150 cm
Lecceta alto fusto	19,9	61,7	20,8	14,8	19,8	59,6	31,0
Sughereta	19,5	58,1	62,2	13,9	19,3	54,2	83,5
Cerreta a <i>Erica arborea</i>	20,0	53,5	46,7	14,3	22,0	50,6	60,4
Cerreta a <i>Carpinus orientalis</i>	19,7	59,5	85,4	14,5	19,5	58,8	107,6
Cerreta a <i>Carpinus betulus</i>	19,3	58,1	60,3	14,2	18,9	56,7	81,8
Lauro-carpinetto (LC)	18,2	55,9	54,0	12,9	18,2	51,3	62,6
Frassineti	18,7	61,3	93,8	14,3	18,6	59,5	104,8

Tab. 4. Lista delle associazioni vegetali e delle unità geomorfologiche corrispondenti alle stazioni microclimatiche.

1	<i>Cakiletum maritimae</i> Pignatti 1953; <i>Sporobolo-Elymetum farcti</i> Br.-Bl. 1933; <i>Ammophiletum arundinaceae</i> Br.-Bl. 1933; aggruppamento ad <i>Anthemis maritima</i> ; <i>Juniperetum macrocarpae-phoeniceae</i>
2	<i>Viburno-Quercetum ilicis macchia</i> Rivas-Martínez 1975, su duna recente
3	<i>Viburno-Quercetum ilicis</i> Rivas-Martínez 1975 su duna recente
4	<i>Carici remotae- Fraxinetum oxycarpae</i> Koch ex Faber 1936, nelle depressioni interdunali
5, 9	<i>Echinopo-Quercetum frainetto</i> Blasi et Paura 1993: silvofacies a <i>Carpinus orientalis</i> su duna antica
6	<i>Echinopo-Quercetum frainetto</i> Blasi et Paura 1993: silvofacies a <i>Carpinus betulus</i> su duna antica
7	<i>Viburno-Quercetum ilicis suberetosum</i> : facies mista a <i>Q. cerris</i> su duna antica
8,10	<i>Quercetum frainetto</i> Blasi et Paura 1993: silvofacies a <i>Erica arborea</i> su duna antica
11, 12	<i>Lauro-Carpinetum</i> Lucchese et Pignatti 1990 su tufo
13	<i>Viburno-Quercetum ilicis suberetosum</i> : facies xerica a <i>Stipa bromoides</i> su duna antica

BIBLIOGRAFIA

- [1] Anthes R.A., Cahir J.J. Fraser., A.B., Panofsky H.A., 1981. The Atmosphere, Merrill Publishing Company, Columbus, OH.
- [2] Barkman J.J., 1977. Die Erforschung des Mikroklimas in der Vegetation. Teoretische und methodische Aspekte. In Dierschke, H. (ed) Vegetation und klima. Cramer, Vaduz: 5-20.
- [3] Blasi C., 1994. *Fitoclimatologia del Lazio*, Regione Lazio Ass. Agricoltura e Foreste.
- [4] Bullini L., Pignatti S., Virzo de Santo A., 1998. Ecologia generale. UTET, Torino.
- [5] De Lillis M., Testi A., Scalfati G., Cavedon G., 1986. Studio microclimatico di una formazione a *Quercus suber* nel Lazio (Valle dell'Inferno, Roma). Arch. Bot. e Biogeografico Italiano 62 (3-4), 175-197.
- [6] De Philippis A., 1957. Lezioni di silvicoltura speciale. Firenze.
- [7] Federici F.M. (1993). "Ricerche comparative sull'ecofisiologia di specie pioniere e finali nella successione in ambiente mediterraneo". Tesi di dottorato.
- [8] Guidotti S., Fanelli G., Fabrini G., Testi A., 2007. A micro-scale gradient of anthropic disturbance in the centre of Rome: a study case of Botanical Garden. 16th workshop of European vegetation Survey, Marzo 2007, Roma.
- [9] Larcher W., 1993. Ecofisiologia vegetale. Ed. Agricole, Bologna.
- [10] Monger H.C. and Bestelmeyer B.T., 2006. The soil-geomorphic template and biotic change in arid and semi-arid ecosystems. Journal of Arid Environments 65 (2), 207-218.
- [11] Pignatti S., 1959. Ricerche sull'ecologia e sul popolamento delle dune del litorale di Venezia. Il popolamento vegetale. Estratto dal bollettino del Museo Civico di Storia Naturale di Venezia 12, 61-41.
- [12] Pignatti S., Bianco P.M., Tescarollo P., Scarascia Mugnozza G.T., 2001. La vegetazione della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Acc. Naz. della Scienze 26, 441-710.
- [13] Potter Brian E., Teclaw Ronald M. and Zasada John C., 2001. The impact of forest structure on near-ground temperatures during two years of contrasting temperature extremes. Agricultural and Forest Meteorology 106 (4), 331-336.
- [14] Shih-Hao Weng, Shing-Rong Kuo, Bing T. Guan, Tsung-Yi Chang, Hsin-Wu Hsu and Chieh-Wen Shen, 2007. Microclimatic responses to different thinning intensities in a Japanese cedar plantation of northern Taiwan. Forest Ecology and Management 241 (1-3), 91-100.
- [15] Stoutjesdijk P.H., Barkman J.J., 1992. Microclimate vegetation and fauna. Uppsala, 216 pp.
- [16] Strahler A.N., Strahler A.H., 1987. Modern Physical Geography, Wiley, New York.
- [17] Testi A., De Nicola C., Guidotti S., Serafini-Sauli A., Fanelli G., Pignatti S., 2006. Vegetation ecology of Castelporziano woodlands. In: Il Sistema Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo. Accademia delle Scienze, "Scritti e Documenti" XXXVII, Seconda Serie, II, 565-605.
- [18] Turner M.G., Gardner R.H. and O'Neill R.V., 2001. Landscape Ecology in Theory and Practice, Springer, New York.
- [19] Weng S.H., Kuo S.R., Guan B.T., Chang T.Yi, Hsu H.W. and Shen C.W., 2007. Microclimatic responses to different thinning intensities in a Japanese cedar plantation of northern Taiwan. Forest Ecology and Management 241 (1-3), 91-100.

LINA FUSARO¹ – SIMONE MEREU^{2,3} – ELISABETTA SALVATORI¹
DONATELLA SPANO³ – FAUSTO MANES⁴

Variazione stagionale del Q_{10} e della respirazione basale in ecosistemi costieri: i modelli di respirazione sono utilizzabili per la vegetazione sempreverde mediterranea?

Abstract – *Seasonal variation of leaves respiration in coastal ecosystem of Mediterranean evergreen vegetation.* Understanding which factors influence the seasonal variation of leaf respiration (R_D), a fundamental parameter for plant physiology, is crucial to increase accuracy with which productivity models can quantify the CO_2 exchange with atmosphere, and to estimate how plant species will respond to the expected temperature increase as a result of climate change. There is, in fact, growing experimental evidence questioning the theoretical assumptions of the currently used empirical models, that do not account for the acclimation process of respiration at reference temperature (R_{REF}) and the proportional increase of respiration for each $10^\circ C$ rise in temperature (Q_{10}). Moreover the works done, have regarded only few ecosystem types, and few studies with contradictory results, have analyzed the stress effects on seasonal variations of R_{REF} and acclimation type. To explore these open issues in Mediterranean area, the response of R_{REF} to temperature (short-term variations) was investigated seasonally (long-term variations) on three evergreen maquis species, in two coastal sites, which differ for intensity and duration of oxidative stresses. The results shows that the theoretical relationships between R_{REF} , Q_{10} and temperature, are not clearly respected and that the influence of phenological stages on the mobilization of assimilates between new and old leaves, and the different intensity and duration of oxidative stress, could play a role. The acclimation process in the studied species, is mainly due to a variation of R_{REF} . The R_{REF} and the Q_{10} do not follow the expected value for species that grow in sites with a different average annual temperature.

Key words: dark respiration, OJIP fluorescence, acclimation, oxidative stress, coastal ecosystems.

¹ Dipartimento di Biologia Ambientale, Sapienza Università di Roma.

² Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici, Sassari.

³ Dipartimento di Dipartimento di Scienze della Natura e del Territorio, Università di Sassari.

Sommario – Comprendere quali fattori influenzano la variazione stagionale della respirazione fogliare (R_D), parametro di fondamentale importanza nella fisiologia complessiva della pianta, è essenziale per aumentare l'accuratezza dei modelli empirici di produttività e di quelli usati per stimare come le specie vegetali risponderanno all'aumento di temperatura previsto in conseguenza dei cambiamenti climatici. Solo in pochi studi, dai risultati contraddittori, è stato analizzato l'effetto che stress ossidativi hanno sulle variazioni stagionali della R_D e sulla tipologia di acclimatazione messa in atto dalle specie mediterranee. In questo contesto si inserisce il presente lavoro, in cui la risposta della R_D alla temperatura (variazioni short-term) è stata studiata su tre specie sempreverdi della macchia mediterranea (*Arbutus unedo* L., *Phillyrea latifolia* L., *Quercus ilex* L.), in due siti costieri che si differenziano per durata e intensità degli stress ossidativi: la Tenuta Presidenziale di Castelporziano (RM), e Piscinas (CI). I risultati ottenuti evidenziano che per spiegare gli andamenti stagionali e i meccanismi che sono alla base dell'acclimatazione, devono essere presi in considerazione altri fattori oltre la temperatura ambientale. Tra questi, l'influenza delle fasi fenologiche sulla mobilitazione degli assimilati tra foglie vecchie e nuove, e la diversa intensità e durata degli stress ossidativi, possono giocare un ruolo fondamentale. Il processo di acclimatazione nelle specie studiate comporta la modulazione della R_D basale mentre il Q_{10} rimane pressoché costante, ma in generale l'acclimatazione non segue quanto ci si aspetterebbe in base alla temperatura media annua dei siti sperimentali considerati.

Parole chiave: respirazione fogliare, fluorescenza della clorofilla, acclimatazione, stress ossidativi, ecosistemi costieri.

Introduzione

Gli ecosistemi costieri rappresentano una zona di grande importanza ecologica ed economica, caratterizzati da un'elevata biodiversità, e come riportato nell'ultimo report dell'IPCC (2007) [30], sono tra quelli che più risentiranno degli effetti dei cambiamenti climatici, che potrebbero inasprire le condizioni ambientali già limitanti. Ad un suolo poco evoluto con una pronunciata variabilità nella distribuzione e disponibilità delle risorse idriche, si aggiunge l'azione costante degli aerosol marini che influenzano caratteri strutturali [29], e funzionali [16; 53; 54; 48; 41] come anche la zonazione della vegetazione in tali aree [1]. Ai fattori di stress di origine naturale, vanno ad aggiungersi pressioni di origine antropica quali l'inquinamento atmosferico. Infatti le zone costiere sono tra le più densamente popolate in Italia come nel resto del Mediterraneo [17], e crescente attenzione è posta sull'aumento del traffico veicolare che costituisce la maggiore fonte di precursori degli inquinati secondari come l'ozono troposferico (O_3) [31]. Tale inquinante raggiunge le maggiori concentrazioni in estate, stagione durante la quale la vegetazione in area mediterranea, è soggetta a periodi di siccità che potrebbero intensificarsi a causa del cambiamento del pattern stagionale delle precipitazioni e dell'aumento delle temperature estive [27]. Per comprendere lo stato di funzionalità della vegetazione presente in tali aree, lo studio della respirazione fogliare (R_D , $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$), processo chiave nella regolazione del metabolismo della pianta, è di cruciale importanza.

Infatti da essa dipende l'energia per l'accrescimento, il mantenimento dei gradienti ionici intercellulari e del loro trasporto; inoltre il processo di respirazione evita un alto carico ossidativo all'interno dei cloroplasti [18; 43] con l'ossidazione del potenziale riducente in eccesso, e con la produzione di ATP necessario alla rigenerazione dei sistemi antiossidanti (ascorbato, glutatione, ciclo delle xantofille) [6]. La dipendenza della respirazione dalla temperatura, evidenziata già a partire dal XIX secolo, è stata teorizzata attraverso modelli empirici in cui l'assunzione di base è che la R_D varia in modo esponenziale con la temperatura ambientale (T) e il tasso di incremento, per l'aumento di $10\text{ }^\circ\text{C}$ (Q_{10}), rimane pressoché costante e uguale a 2, mentre la respirazione basale (R_{REF} , respirazione ad una data temperatura, per convenzione la più bassa tra quelle misurate) viene assunta costante nel tempo [25; 65]. Tali assunzioni, attualmente alla base dei modelli per il bilancio del carbonio, è stata messa in discussione da crescenti evidenze sperimentali che mostrano come la R_{REF} non è costante nel tempo, e il Q_{10} può assumere valori compresi fra 1.4 e 4.2 [61]. La comprensione delle basi metaboliche dei processi di acclimatazione è fondamentale per includere l'effetto che la temperatura ha sui flussi di carbonio [5; 26; 67], e di conseguenza nei modelli che simulano la risposta della vegetazione ai cambiamenti climatici [65]. Atkin e Tjoelker [10] hanno proposto un modello sintetico che prevede due tipologie di acclimatazione alla temperatura di crescita e alle variazioni di T a breve termine. La tipologia I è associata con il cambiamento della curvatura della funzione che descrive la relazione tra R_D e T (Q_{10}), mentre la tipologia II comporta il cambiamento dell'intercetta (R_{REF}). In generale tale modello prevede che all'aumentare della temperatura ambientale la R_{REF} e il Q_{10} diminuiscono. Tuttavia, le spiegazioni meccanicistiche riguardanti le variazioni di R_{REF} non sono ancora esaustive, è stato osservato che il cambiamento del Q_{10} non dipende unicamente dalla temperatura, ma anche dalla quantità di substrato disponibile [66], che può variare quando si verificano condizioni limitanti (es. stress idrico) [9; 57; 67]. Un altro fattore da tenere in considerazione è l'habitus fogliare: il tasso di R_D può essere influenzato dalle differenti strategie che specie decidue e sempreverdi mostrano in presenza di stress abiotici e in diverse fasi dell'accrescimento [12]. Nonostante la respirazione sia un fattore essenziale nel computo dei flussi di carbonio, l'effetto che stress ossidativi, naturali o antropici, hanno sulla R_D rimane elusivo. Solo pochi studi, con risultati contraddittori, sono stati effettuati a riguardo [49; 52]. All'interno di questo dibattito una possibile interpretazione della variabilità riscontrata nella risposta della R_D allo stress idrico è stata data da Flexas *et al.*, [23], il quale suggerisce che per stress idrici moderati i tassi di R_D si riducono a causa di una *down-regulation* dell'attività metabolica, ma che per stress di maggiore intensità, la R_D aumenta per soddisfare la richiesta di metaboliti ed energia necessaria ad attivare processi di riparazione. Studiare tali meccanismi è essenziale per comprendere come i processi dinamici degli ecosistemi possono essere alterati in risposta ai cambiamenti climatici attesi [38; 51]. Per studiare la funzionalità della vegetazione in ecosistemi costieri è necessario prendere in considerazione come

stress di diversa natura ed intensità influenzano la risposta della R_D al cambiamento della temperatura. In questo lavoro sperimentale, la risposta della respirazione alla temperatura è stata studiata, nell'arco di diverse stagioni, in tre specie sempreverdi della macchia mediterranea (*A. unedo*, Au; *P. latifolia*, Pl; *Q. ilex*, Qi), in due siti costieri che differiscono per intensità e tipologia di stress ossidativi: la Tenuta Presidenziale di Castelporziano, area di notevole valore naturalistico inserita nell'area metropolitana Romana, sottoposta all'impatto di inquinanti gassosi altamente fitotossici [24; 35; 37], e Piscinas, situata all'interno del parco geominerario sulla costa sud-ovest della Sardegna (Provincia di Carbonia – Iglesias), impattata prevalentemente da stress di origine naturale (azione meccanica dei venti prevalenti, aridità estiva). Gli obiettivi di questo lavoro sono: i) verificare se le relazioni teorizzate a partire da modelli di respirazione basati sulla temperatura sono validi anche per le specie sempreverdi mediterranee in aree costiere in cui l'aumento della temperatura coincide con l'acuirsi di stress ossidativi naturali e antropici; ii) considerare quanto lo stato fisiologico complessivo della pianta influenza la respirazione fogliare, con particolare attenzione a come il Q_{10} e la R_D basale vengono modulati in risposta a stress ossidativi in siti con differenti caratteristiche climatiche.

2 Materiali e Metodi

2.1 Descrizione dei siti di studio

L'attività sperimentale, iniziata ad Aprile 2010, è stata effettuata in due siti scelti all'interno di ecosistemi costieri in cui la vegetazione prevalente è quella di macchia mediterranea. Una delle aree sperimentali è situata all'interno della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (CP) 41° 41'54.56" N, 12° 21'0 9.50" E, a 200 m dalla linea di costa, nel primo retro duna, e ricade all'interno della regione fitoclimatica Termo-Mediterranea, in cui la vegetazione è soggetta ad estati calde e siccitose e a inverni freddi [13]. La vegetazione è composta da macchia alta riconducibile all'associazione *Quercetum ilicis*, dove le specie co-dominanti con *Quercus ilex* L. sono *Phillyrea latifolia* L., *Arbutus unedo* L. e *Erica arborea* L., con un'altezza media della chioma che non supera i 2.5 metri, e da patches di macchia bassa alternati a gariga in cui sono presenti formazioni a *Erico-Rosmarinetum*, caratterizzato da cespugli di *Rosmarinus officinalis* L., *Erica multiflora* L., *Cistus incanus* L.

È presente un suolo alcalino sabbioso (pH 8.3), con una scarsa capacità di ritenzione idrica [21]. Tuttavia la presenza della falda, affiorante in inverno, costituisce una fonte di approvvigionamento idrico anche nei mesi estivi, quando non scende sotto i due metri di profondità [42], ma è soggetta a fenomeni di intrusione di acqua marina [2]. Le concentrazioni di O_3 nel periodo primaverile-estivo raggiungono picchi di 90 ppb h, e il flusso notturno di O_3 contribuisce al flusso giornaliero totale per il 10, 18% [40].

L'altra area di studio è situata sulla costa sud-ovest della Sardegna presso la località di Piscinas (PSN), all'interno del parco geominerario della Sardegna (39°

34°9.37" N, 8° 27'41.48" E). L'inquadramento bioclimatico dell'area di studio, fatta seguendo la classificazione proposta da Rivas Martínez [50] e le elaborazioni più recenti [11], rientra nel bioclina Mediterraneo pluvistagionale oceanico con termotipi compresi tra il termo mediterraneo superiore e il mesomediterraneo inferiore e ombrotipi che variano tra il secco superiore e il subumido inferiore. La vegetazione presente è inquadrabile in uno stato di transizione tra la macchia alta con individui che non superano i 3 m di altezza, e la gariga che diventa dominante nelle aree più prossime alla costa dove prevalgono specie eliofile e resistenti come *P. latifolia* e *Pistacia lentiscus* L. in forma di arbusti prostrati e fortemente modellati dal vento. Il sito si trova a valle del territorio di Montevecchio, a 100 m circa dalla linea di costa, al limitare tra gli ampi complessi dunali costieri e gli scisti argillosi e arenacei impermeabili che si incontrano andando verso l'interno. La circolazione idrica sotterranea nell'area risulta molto limitata, le falde e le sorgenti sono piuttosto povere. Rispetto al sito di CP, l'esposizione dell'area di studio la rende fortemente soggetta ai venti prevalenti che provenendo dal mare (maestrale), sono spiccatamente salmastri. I parametri ambientali relativi al sito di studio di CP, sono stati raccolti da una centralina meteo posta a 6 Km circa dal sito sperimentale, che registra in continuo dati di temperatura, umidità relativa, radiazione, direzione ed intensità del vento e precipitazioni. Il territorio della Sardegna non presenta un sistema di centraline meteo molto capillare. Questo ha portato ad utilizzare i dati, forniti come medie giornaliere, di una stazione meteo presente in località Capo Frasca (39° 40'42.85" N, 8° 26'49.48" E) che per esposizione e posizione rispetto alla linea di costa è paragonabile al sito studiato. I dati delle centraline meteo sono stati alla base delle elaborazioni per l'inquadramento climatico, e per le relazioni con i parametri fisiologici misurati. Sono stati inoltre calcolati gli indici di Mitrakos che aiutano ad evidenziare, su base mensile, l'incorrere di condizioni critiche che nel clima mediterraneo si assume si verificano quando le precipitazioni mensili sono inferiori a 50 mm, o quando la temperatura minima mensile scende sotto i 10°C, posta come soglia termica per l'avvio dell'attività vegetativa.

Lo stress da aridità (MDS) è calcolato con la formula: $D = 2 \times (50 - P)$, dove P è la precipitazione mensile in mm (quando $p=0$ mm si ha $D=100$; quando $p > 50$ mm si considera $D=0$).

Lo stress da freddo (MCS) è invece calcolato tramite la relazione: $C=8 \times (10 - T)$, dove T è la temperatura minima mensile in °C (quando $t > 10^\circ\text{C}$ si pone $C = 0$; quando $t < 2,5^\circ\text{C}$ si fissa $C = 100$).

Le campagne sperimentali nei due siti sono state effettuate ad Aprile ed Agosto 2010, e a Febbraio, Aprile e Luglio 2011; nel sito di CP è stata effettuata l'attività sperimentale anche nel mese di Luglio 2010.

2.2 Stato idrico e caratteristiche fogliari

La disponibilità idrica è stata valutata tramite misure di potenziale idrico fogliare di predawn (Ψ_{pd} , MPa) con camera a pressione (Scholander, PMS Instruments, Oregon, USA).

Su un campione di 20 foglie per ogni specie e sito è stata determinata l'area fogliare tramite software (Image Tool Software Roswell, GA). Le foglie sono state poste in stufa a 80°C, fino al raggiungimento del peso secco, e dai dati così raccolti è stato possibile ricavare lo SLA (Specific Leaf Area), cioè il rapporto tra area fogliare e peso secco ($\text{cm}^2 \text{gr}^{-1}$). A Febbraio 2011 in entrambi i siti, su 5 foglie per individuo sono state effettuate misure per la determinazione del contenuto relativo di clorofilla con lo strumento SPAD (Minolta).

2.3 Scambi gassosi e Respirazione al buio

Tramite analizzatore all'infrarosso CIRAS 2 (PP Systems, Hitchin, UK) sono state effettuate misure di scambi gassosi tra le 09:00 e le 11:00 GMT+1, per determinare i tassi massimi di assimilazione ($P_{N_{\text{sat}}}$, $\mu\text{molCO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Lo strumento, che misura anche la traspirazione (E , $\mu\text{molH}_2\text{O} \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$), la conduttanza stomatica (g_s , $\mu\text{molH}_2\text{O} \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e la concentrazione sottostomatica di CO_2 (C_i , ppm), registra simultaneamente anche parametri ambientali come irradianza (PAR, $\mu\text{mol photons} \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$), umidità relativa (RH, %), temperatura ambientale e fogliare (T_a e T_l , °C) e calcola il deficit di pressione di vapore (VPD, kPa). Tutte le misure effettuate sono state condotte su 3 foglie di sole, completamente espanse, per ognuno dei 4 o 5 individui monitorati.

Lo stesso strumento è stato utilizzato per effettuare, a partire dalle 17:00, le misure di respirazione al buio (R_D , $\mu\text{molCO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Sono state effettuate curve di risposta della respirazione alla temperatura facendo variare, tramite sistema di termocoppie, la temperatura fogliare di 6 gradi a partire da 18°C fino a 36 °C; 18°C è la temperatura di riferimento (T_{REF}). La respirazione basale alla T_{REF} è indicata come R_{18} . Le foglie usate per la misura della R_D , pre-oscurate per 30 minuti per evitare il rilascio di CO_2 [8], sono le stesse su cui sono state effettuate le misure di scambio gassoso. Per ogni step di temperatura, le misure di R_D sono state registrate solo quando il valore si era stabilizzato (approssimativamente dopo 10 min).

2.4 Funzionalità dei fotosistemi

Lo stato funzionale dei fotosistemi è stato valutato tramite misure di fluorescenza della clorofilla *a* (Chl *a*) effettuate con lo strumento Handy PEA (Hansatech Ltd, UK); ai dati così raccolti è stato poi applicato il JIP-test [59]. Tali misure, sono effettuate su foglie in cui i centri di reazione (RC) sono portati allo stato di completa ossidazione con un adattamento al buio di 40 minuti. Per ogni data, sono stati

campionati quattro o cinque individui per specie (3 foglie). I parametri riportati in questo lavoro sono: F_0 , fluorescenza basale; φE_0 , efficienza con cui l'energia in entrata nel PSII (ABS) viene usata per il trasporto elettronico (ET); RE/ABS, efficienza con cui vengono ridotti gli accettori finali degli elettroni (Ferredossina, NADPH⁺); PI_{TOT} , Performance Index totale, indice sintetico per valutare la performance complessiva della fotochimica primaria [60]. Per il calcolo del PI_{TOT} vengono considerati: i) lo stato funzionale delle strutture atte alla captazione dell'energia luminosa (RC/ABS: densità dei centri di reazione); ii) la resa quantica della fotochimica primaria (φP_0 : quantità di energia catturata per centro di reazione attivo); iii) l'efficienza con cui gli elettroni vengono convogliati nella catena di trasporto elettronico oltre gli accettori primari Q_A^- (Ψ_0); iiiii) l'efficienza con cui gli elettroni vanno a ridurre gli accettori finali dal lato accettore del PSI (RE/ET).

2.5 *Trattamento dei dati e analisi statistica*

Il valore numerico del Q_{10} è stato calcolato seguendo il metodo presentato da Armstrong *et al.*, 2006 [4]: per ogni curva di risposta, è stata fatta una retta di regressione tra il logaritmo in base 10 della R_D e la temperatura fogliare. La pendenza di questa retta è stata usata per il calcolo del Q_{10} applicando la formula:

$$Q_{10} = 10^{(10 \times \text{pendenza della retta di regressione})} \quad \text{Eq 1}$$

Per le relazioni generali con R_{18} (respirazione alla T_{REF}) e Q_{10} è stata usata la Temperatura ambientale media dei due giorni precedenti a quello di misura (T_{2m}).

Per ogni individuo il rapporto R_D/P_{Nsat} è stato ottenuto accoppiando i valori di P_{Nsat} a quelli di R_D stimata alla temperatura a cui è stata misurata la fotosintesi. Tale valore è stato ottenuto applicando la formula:

$$R = R_{REF} \times Q_{10}^{\left[\frac{T-T_{REF}}{10}\right]} \quad \text{Eq 2}$$

proposta da Kruse *et al.*, [32], dove il Q_{10} è quello calcolato per ogni individuo, per ognuna delle giornate in cui sono state effettuate misure, e la T rappresenta la temperatura a cui è stata misurata la P_{Nsat} .

I dati, analizzati con il software Statistica 7 (StatSoft, Inc. – Tulsa, OK – USA), sono stati sottoposti ad analisi della varianza in cui i fattori considerati sono stati la specie, il sito, il tempo. Per i valori di SPAD è stata valutata, per ogni specie, la differenza tra siti, ma per Per lo SLA è stata verificata anche la differenza interspecifica. Le differenze messe in evidenza dall'analisi della varianza sono state analizzate con il test post-hoc di Newman-Keuls con livello di significatività al $p < 0.05$.

3 Risultati

3.1 Caratteristiche climatiche dei siti studiati

Tra i siti di studio considerati, Castelporziano (CP) e Piscinas (PSN), sono presenti notevoli differenze in termini di temperatura media annua (TMA), temperatura massima e minima e per la quantità delle precipitazioni. Nel 2010 e 2011, nel sito di CP la temperatura media annua è più bassa rispetto al sito di PSN di 3.1 °C. A Castelporziano in entrambi gli anni la temperatura media del mese più freddo (Gennaio nel 2010 e Febbraio nel 2011) è stata più bassa di 5.05 e 6.23 °C rispetto a PSN. Inoltre tra Dicembre e Febbraio, la temperatura minima a CP è scesa sotto i 0 °C per 27 volte (dati non mostrati), condizione che non si verifica mai a PSN. L'escursione tra le temperature massime e le minime, è più pronunciata nel sito di Castelporziano in cui, per i due anni considerati (2010-2011) le precipitazioni annue sono maggiori (832.1 mm) (Fig. 1a, b); in entrambi i siti l'anno meno piovoso è il 2011 (742 mm in CP, e 552 mm in PSN). Come si evince dai diagrammi di Mitrakos (Fig. 2) nel sito di PSN il periodo di stress idrico (Fig. 2a, b) è più prolungato e intenso rispetto a CP dove prevale uno stress da freddo (Fig. 2c, d). I valori di VPD (Fig. 3), mostrano una differenza tra siti ad Aprile 2010 e Febbraio

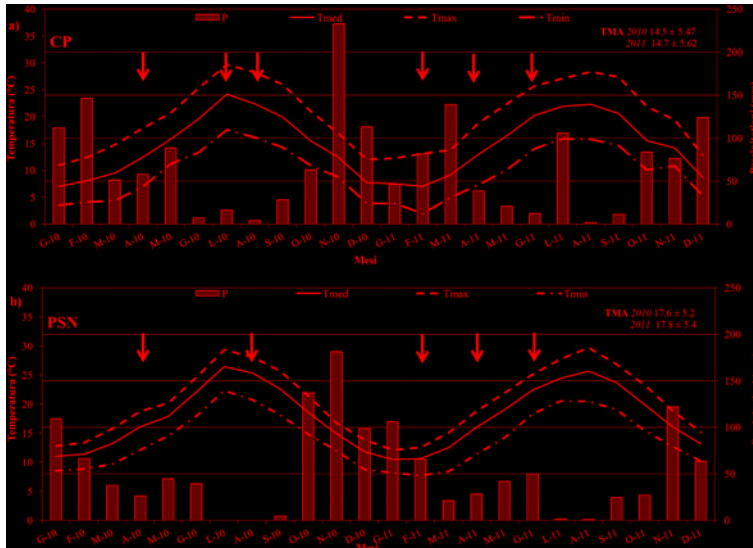


Fig. 1. Medie mensili delle temperature (Tmax = media delle temperature massime; Tmed = temperatura medie; Tmin = media delle temperature minime) e livello delle precipitazioni da Gennaio 2010 a Dicembre 2011 nei due siti di studio: a) Castelporziano (CP), b) Piscinas (PSN). Le frecce indicano i periodi dell'anno in cui sono state svolte le campagne sperimentali. Viene inoltre riportata la temperatura media annua per gli anni considerati.

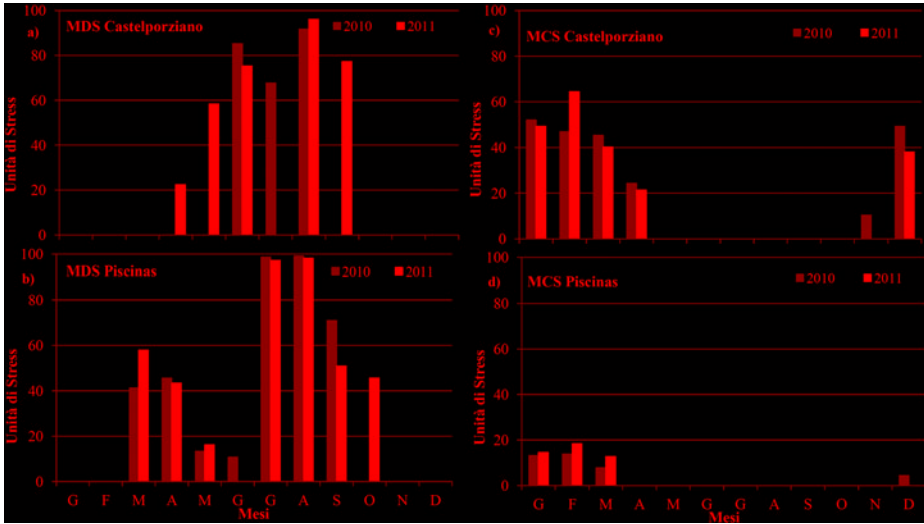


Fig. 2. Indici climatici di Mitrakos: in Unità di Stress sono espressi i valori relativi all'andamento mensile dell'indice di stress da aridità (MDS, 2a, b) e di stress da freddo (MCS, 2c, d) per gli anni 2010 (barre in grigio), e 2011 (barre in nero), nei due siti di studio Castelporziano (CP) e Piscinas (PSN).

2011; nel Luglio 2011 in entrambi i siti si raggiungono valori di VPD (PSN 3.53 ± 0.06 ; CP 3.15 ± 0.05 kPa) che sono al di sopra della soglia critica che nelle specie mediterranee può determinare una marcata riduzione della conduttanza stomatica (Mediavilla and Escudero 2003).

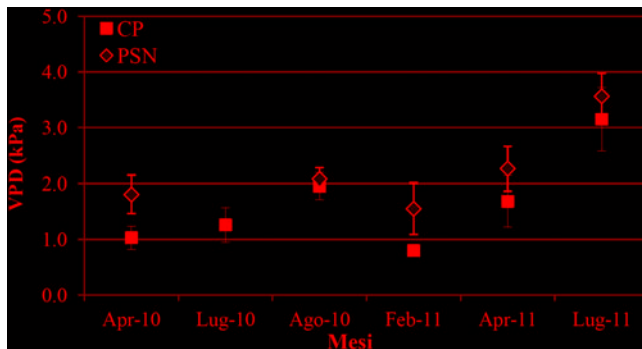


Fig. 3. Andamento del deficit di pressione di vapore (VPD, kPa), nelle date di campionamento nei due siti di studio.

3.2 Stato idrico e caratteristiche fogliari

A CP il Ψ_{PD} si abbassa già a partire da Luglio 2010, per raggiungere i minimi valori misurati ad Agosto 2010, data in cui in *Q. ilex* il potenziale idrico diminuisce significativamente rispetto alle altre due specie ($-0.1 \text{ MPa} \pm 0.16$ in Au; $-1.03 \text{ MPa} \pm 0.15$ per la PI; $-1.33 \text{ MPa} \pm 0.40$ in Qi) (Fig. 4 a). Anche a PSN (Fig. 4 b) una significativa riduzione del Ψ_{PD} (Tab. 2 a) è presente nell'Agosto del 2010 ($\Psi_{PD} < -3 \text{ MPa}$).

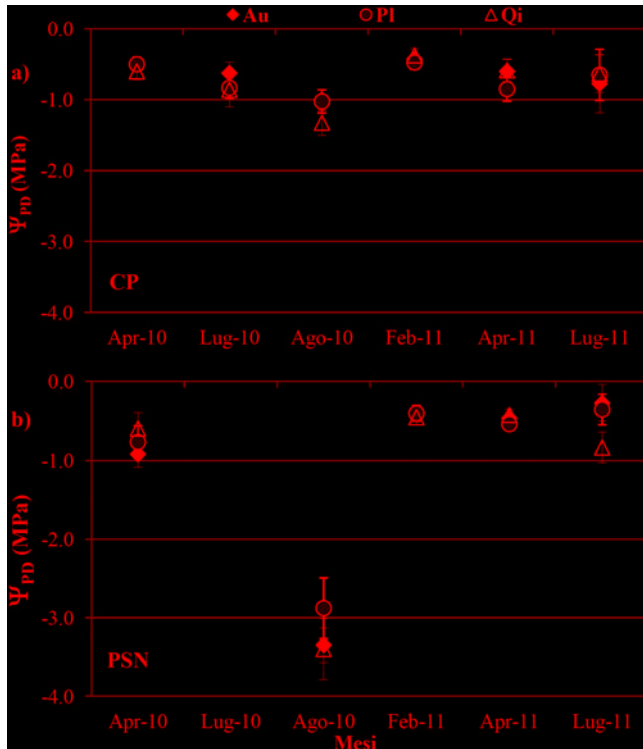


Fig. 4. Valori di potenziale idrico di predawn (Ψ_{PD} , MPa) per le specie indagate: *A. unedo* (Au), *P. latifolia* (PI), *Q. ilex* (Qi) nei siti sperimentali: a) CP, Castelporziano; b) PSN, Piscinas.

Il contenuto relativo di clorofilla è maggiore a PSN per *A. unedo* e *P. latifolia*, più alto a CP nel caso di *Q. ilex*. Tra i siti c'è una differenza nel grado di sclerofilia per tutte e tre le specie: per *A. unedo* il grado di sclerofilia a CP è più basso che a PSN, situazione diversa per le altre due specie (*P. latifolia* e *Q. ilex*) (Tab. 1).

SPAD	<i>A. unedo</i>	<i>P. latifolia</i>	<i>Q. ilex</i>
CP	64.7 ± 7.3 <i>a</i>	59.43 ± 11.8 <i>a</i>	52.91 ± 2.6 <i>b</i>
PSN	59.43 ± 7.8 <i>b</i>	66.03 ± 13.5 <i>b</i>	47.73 ± 6.4 <i>a</i>
SLA	<i>A. unedo</i>	<i>P. latifolia</i>	<i>Q. ilex</i>
CP	62.7 ± 5.19 <i>c</i>	34.74 ± 4.39 <i>a</i>	52.65 ± 4.71 <i>b</i>
PSN	47.41 ± 4.04 <i>ab</i>	44.23 ± 5.57 <i>ab</i>	58.42 ± 3.63 <i>b</i>

Tab. 1. Valori della quantità relativa di clorofilla espressa in unità SPAD, e dello SLA ($\text{cm}^2\text{gr}^{-1}$) nei due siti sperimentali. Le lettere indicano valori significativamente differenti ($p < 0.05$) tra i siti per ogni specie (SPAD); tra i siti e le specie (SLA).

3.3 Q_{10} e respirazione di riferimento

3.3.1 Andamenti stagionali

In entrambi i siti e per tutte le specie studiate, i valori di R_{18} più alti non vengono misurati alle temperature più basse (periodo invernale) ma in primavera. Altri valori vengono inoltre misurati nel periodo estivo per elevati valori di VPD. In particolare, a CP il valore massimo di R_{18} per Au (Fig. 5 a) è misurato ad Apr-11 (R_{18} 1.55 ± 0.11 ; T_{2m} , 12.2 °C), e il minimo a Feb-11 (1.39 ± 0.27 ; T_{2m} , 7.9 °C); quest'ultimo valore non differisce però da quelli misurati a Lug-10 (0.57 ± 0.15 ; 25.3 °C) e Ago-10 (0.53 ± 0.21 ; 19.3 °C). Anche per Pl il valore massimo di R_{18} è registrato a primavera (Fig. 5 b) ma non vi sono differenze tra questo valore e ciò che è stato misurato a Lug-11; il valore minimo si registra ad Ago-10: 0.24 ± 0.15 (T_{2m} 19.3). In Qi (Fig. 5 c) a primavera si raggiunge il valore massimo (0.96 ± 0.18), e il minimo è misurato in concomitanza con l'abbassamento del Y_{PD} , e il valore di temperatura più alto a cui sono state effettuate misure nel sito di CP ($T_{2m} = 25.3$ °C; Lug-10). Solo in Qi è presente una relazione tra l'abbassamento della R_{18} e l'aumento della temperatura ($R^2 = 0.79$, $p = 0.017$, dati non mostrati).

Per quanto riguarda il l'andamento del Q_{10} in Au aumenta significativamente solo a Feb-11, mentre rimane pressoché invariato nelle altre giornate di misure (Fig. 5 d). Mentre per Pl (Fig. 5 e) i valori di Q_{10} variano tra 1.7 ± 0.10 (Lug-10) e 3.1 ± 0.63 (Ago-10), in Qi (Fig. 5 f) rimangono costanti intorno a 2, variando significativamente ad Aprile Luglio 2010 (1.62 ± 0.14 , 2.70 ± 0.97 rispettivamente). Per tutte le specie non vi è alcuna relazione tra andamento della T_{2m} e valori del Q_{10} .

Nel sito di Piscinas per Au il valore massimo della R_{18} è stato misurato nel Lug-11 (1.20 ± 0.33) in concomitanza di elevati valori di VPD (3.56 kPa, Fig. 3), e quello minimo ad Ago-10 (0.35 ± 0.07) ($\Psi_{PD} < -3$ MPa). I tassi di respirazione misurati nel 2010 e nel 2011 nel periodo primaverile sebbene la T_{2m} fosse simile (16.7 and 17.3 °C rispettivamente) cambiano in modo significativo: 0.99 ± 0.12 nel 2010 e 0.49 ± 0.18 nel 2011 (Fig. 5 a). Pl nel sito di PSN (Fig. 5 b) presenta il valore massimo a primavera (Apr-10) con T_{2m} di 17 °C, e il minimo di R_{18} per T_{2m} di 27.1 °C. L'andamento della respirazione basale misurata a PSN per *Q.ilex* (Fig.

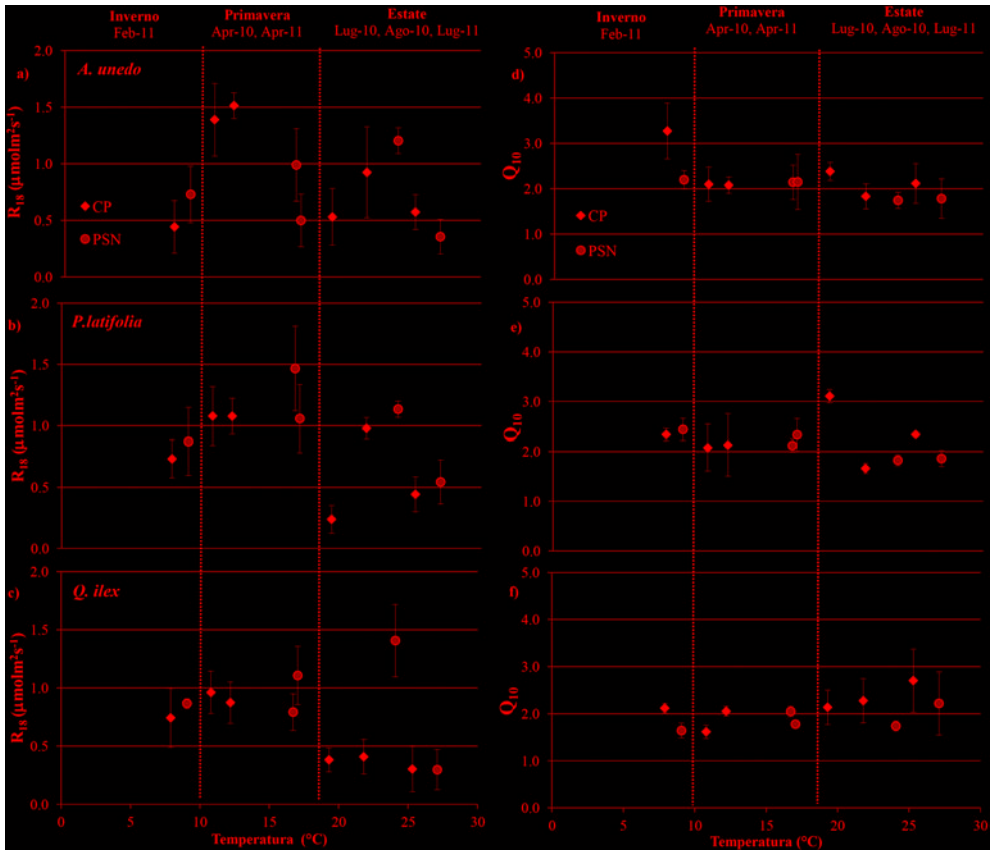


Fig. 5. Andamento di R_{18} e Q_{10} in relazione alla temperatura media dei due giorni precedenti a quelli di misura nei diversi siti (CP, Castelporziano; PSN, Piscinas) per le specie studiate.

5 c) mostra un andamento simile a quello presente a CP ad eccezione per il picco di R_{18} misurato a in Lug-11 (1.4 ± 0.31). In generale, escludendo questo ultimo dato, i valori di R_{18} oscillano tra 1.10 ± 0.25 a primavera, e il valore minimo (0.29 ± 0.07), misurato nel periodo più caldo e secco (Aug-10). Il Q_{10} in *A.unedo* rimane mediamente intorno al valore di 2.0 ± 0.22 durante tutte le giornate di misura. Mentre per la *P. latifolia* i valori sono più alti e oscillano tra 2.43 ± 0.22 e 1.85 ± 0.42 (Fig. 5 e) per *Q. ilex* non ci sono variazioni significative (Tab. 2 a). Tra i siti di studio le variazioni stagionali di R_{18} e Q_{10} sono significative solo per Au (Tab. 2 b). Per *P. latifolia* e *Q. ilex* possono essere spiegate unicamente come trend stagionale ($p = 0.001$).

3.4 Assimilazione e funzionalità dei fotosistemi

3.4.1 Fotosintesi massima

A CP l'andamento del tasso di assimilazione massima ($P_{N_{sat}}$) in tutte e tre le specie risponde alla diminuzione della quantità di acqua nel suolo più che all'aumento del VPD. Infatti la $P_{N_{sat}}$ diminuisce significativamente ad Agosto 2010 (Fig. 6 a; Tab. 2 a). Il massimo di assimilazione è raggiunto nei mesi primaverili. Presso il sito di Piscinas (Fig. 6 b), per tutte le specie studiate, si registrano riduzioni significative dei valori di $P_{N_{sat}}$ in concomitanza di valori di VPD (> 3 kPa), o potenziali idrici molto bassi ($\Psi_{PD} < -3$ MPa). Il leccio risulta essere la specie più sensibile non solo a condizioni limitanti quali bassa disponibilità idrica o alta richiesta traspirativa, ma anche alle condizioni presenti nel periodo invernale (basse temperature, alta irradianza): infatti nel Febbraio 2011 a PSN il leccio presenta una diminuzione della $P_{N_{sat}}$ del 45.4% rispetto ai picchi primaverili.

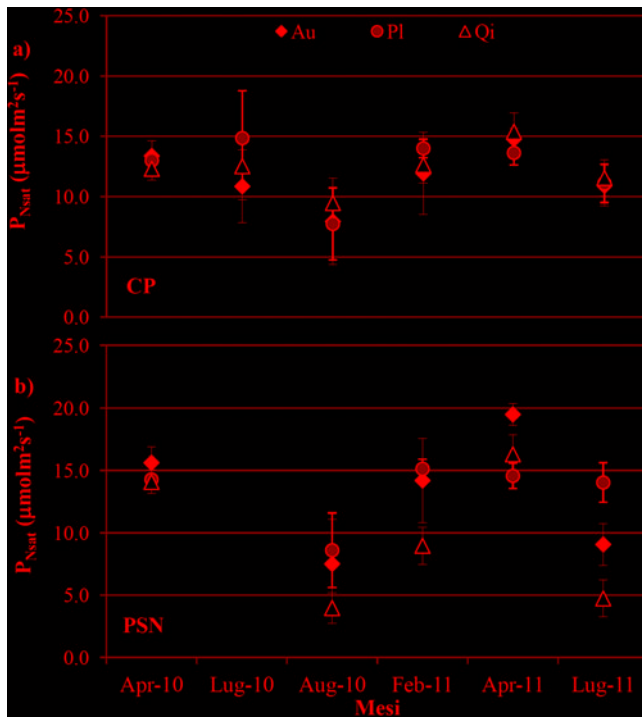


Fig. 6. Tassi di assimilazione massima misurati a Castelporziano (a), e a Piscinas (b) in condizioni di luce saturante tra le 9:00 e le 11:00 a.m.

3.4.2 Parametri JIP-test

Dall'analisi dei parametri del JIP-test emerge che i fotosistemi rispondono a condizioni ambientali limitanti o mettendo in atto processi di down-regulation o con un transitorio aumento della funzionalità (Fig. 7, Tab. 2 c). Nel sito di CP, il valore di F_0 , legato alla quantità di pigmenti contenuti nei complessi antenna e alla stabilità funzionale di quest'ultimi, rimane costante per *A. unedo* e *P. latifolia*, mentre in *Q. ilex* aumenta significativamente in concomitanza dell'abbassamento del Ψ_{PD} (Fig. 4 a) ad Agosto 2010. In questa stessa data le efficienze di utilizzo dell'energia in entrata (φE_0 , RE/ABS), diminuiscono in tutte e tre le specie (Fig. 7b, c).

Il PI_{TOT} presenta una risposta specie-specifica alle variazioni stagionali: nel corbezzolo, PI_{TOT} si abbassa significativamente nelle date in cui a causa degli alti valori di VPD, c'è una limitazione stomatica dell'assimilazione (Luglio 2011), mentre nel leccio aumenta nel periodo più freddo. Nella fillirea, al contrario, il PI_{TOT} non varia. Nel sito di PSN, in concomitanza con il periodo di stress idrico (Agosto 2010) abbiamo un aumento di F_0 , per tutte e tre le specie. In questo sito i parametri che ci danno indicazioni sulla funzionalità del PSI (RE/ABS, PI_{TOT}) non sembrano risentire dei periodi di stress in *A. unedo* e nella *P. latifolia*; in quest'ultima specie, a PSN, aumentano nel periodo primaverile in concomitanza con i massimi di assimilazione misurati. In *Q. ilex* i due parametri hanno variazioni diverse a seconda della tipologia di stress: RE/ABS aumenta in presenza di stress idrico (Agosto 2010), mentre diminuisce nel Luglio 2011 (alto valore di deficit di pressione di vapore, VPD); in entrambe le date invece i valori di PI_{TOT} sono significativamente inferiori a quelli riscontrate in altre giornate (Fig. 7 h).

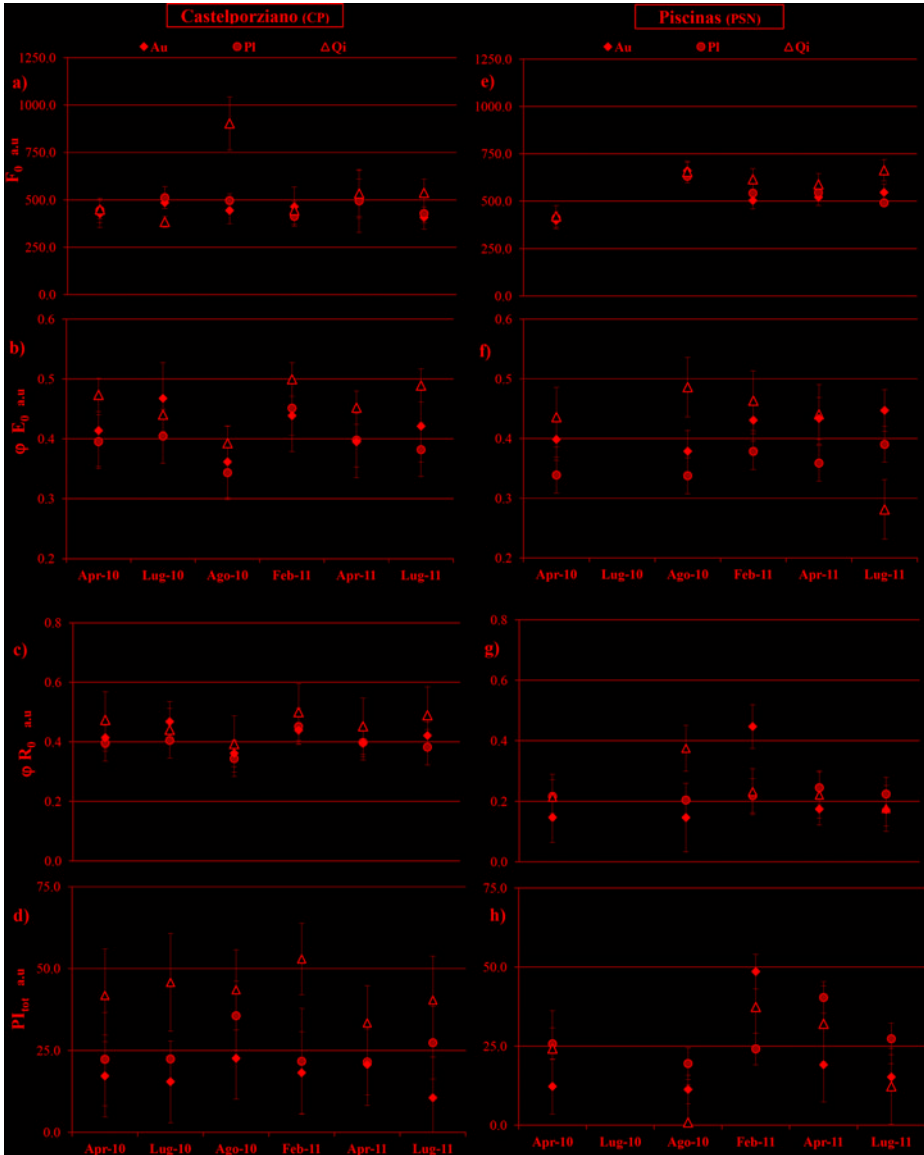


Fig. 7. Misure di fluorescenza della Chl *a*: parametri JIP- test, per le diverse date di campionamento per le specie studiate: *A. unedo* (**Au**), *P. latifolia* (**Pl**), *Q. ilex* (**Qi**), nei due siti sperimentali. F_0 , fluorescenza basale; ϕE_0 , efficienza con cui l'energia in entrata nel PSII (ABS) viene usata per il trasporto elettronico; ϕR_0 , efficienza con cui vengono ridotti gli accettori finali degli elettroni; PI_{TOT} , Performance index totale.

3.5 Rapporto tra respirazione e fotosintesi

Nella Fig. 8 si può osservare l'andamento del rapporto R_D/P_{Nsat} nel sito di CP (Fig. 8 a) e PSN (Fig. 8 b).

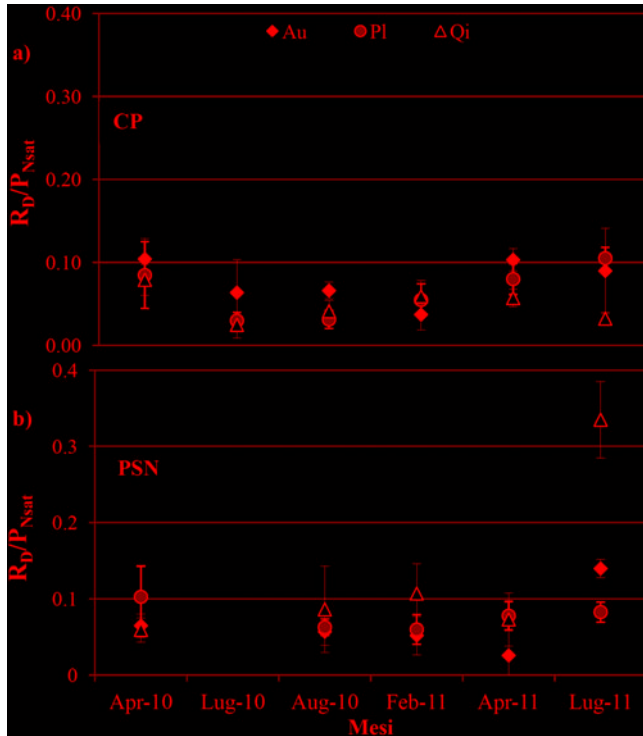


Fig. 8. Andamento del rapporto tra R_D e fotosintesi massima per le specie considerate: **Au**, *A. unedo*; **Pl**, *P. latifolia*; **Qi**, *Q. ilex* nei siti di studio: a) Castelporziano; b) Piscinas.

Nel sito di CP *A. unedo* e *Q. ilex* raggiungono il valore massimo nel periodo primaverile (0.104 ± 0.015 , 0.079 ± 0.012 rispettivamente). Nell'Agosto del 2010 il rapporto diminuisce per il leccio, ma rimane stabile per le altre due specie. In *P. latifolia* il massimo si misura nel Luglio 2011, data in cui ad un aumento di R_{18} corrisponde una diminuzione di P_{Nsat} . Nel sito di Piscinas il rapporto rimane costante, aumentando in modo significativo solo in *A. unedo* e *Q. ilex* quando c'è un aumento del VPD (> 3 mbar, Luglio 2011), ma una buona disponibilità idrica al suolo.

a) Parametri		CP	PSN
Ψ_{PD}	Tempo	0.000	0.000
	Specie	0.028	0.504
	Tempo*Specie	0.001	0.509
Q_{10}	Tempo	0.589	0.061
	Specie	0.007	0.042
	Tempo*Specie	0.022	0.015
R_{18}	Tempo	0.003	0.009
	Specie	0.000	0.000
	Tempo*Specie	0.044	0.010
P_{Nmax}	Tempo	0.459	0.000
	Specie	0.000	0.000
	Tempo*Specie	0.319	0.023
R_D/P_{Nmax}	Tempo	0.002	0.000
	Specie	0.000	0.000
	Tempo*Specie	0.064	0.000

b) Specie		R_{18}	Q_{10}
Au	Sito	0.372	0.001
	Stagione	0.001	0.000
	Sito*Stagione	0.005	0.008
PI	Sito	0.110	0.538
	Stagione	0.001	0.495
	Sito*Stagione	0.921	0.150
Qi	Sito	0.051	0.091
	Stagione	0.027	0.134
	Sito*Stagione	0.128	0.265

c) Parametri		CP	PSN
F_0	Tempo	0.000	0.000
	Specie	0.000	0.000
	Tempo*Specie	0.000	0.000
ϕE_0	Tempo	0.000	0.033
	Specie	0.000	0.000
	Tempo*Specie	0.001	0.000
ϕR_0	Tempo	0.000	0.000
	Specie	0.000	0.013
	Tempo*Specie	0.001	0.000
PI_{TOT}	Tempo	0.000	0.000
	Specie	0.000	0.003
	Tempo*Specie	0.001	0.000

Tab. 2. Tabelle in cui vengono riportati gli output dell'analisi della varianza per valutare: a) in ogni sito la differenza tra specie relative alle misure ecofisiologiche effettuate stagionalmente (fattore tempo); b) per ogni specie, la differenza stagionale tra siti in R_{18} e Q_{10} ; c) in ogni sito, la differenza presente tra le specie nei trend temporali relativi alle misure di fluorescenza della Chl *a*.

Discussione

In questo studio è stato indagato il meccanismo con cui, specie sempreverdi di ecosistemi costieri a macchia mediterranea, modulano la R_D basale (R_{18}) e il Q_{10} . In particolare, date le peculiarità ecologiche degli ecosistemi mediterranei, si è cercato di comprendere se i modelli predittivi della respirazione siano applicabili anche in tali situazioni. Effettuare tali misure in condizioni di campo in siti che hanno un'esposizione a stress di diversa natura ed intensità, ha inoltre consentito di indagare le relazioni fra i processi di acclimatazione, lo stato fisiologico complessivo della vegetazione e stress ossidativi. I modelli di acclimatazione basati sulla temperatura prevedono che i valori più elevati di Q_{10} o R_D alla temperatura di riferimento (R_{REF}) siano misurati alle temperature più basse a cui si effettuano le misure, e che tali valori diminuiscano all'aumentare della temperatura. Tali modelli nel caso di specie sempreverdi mediterranee potrebbero però essere soggetti a forti errori: dai dati raccolti in questo lavoro emerge una scarsa relazione tra il Q_{10} o la R_{REF} e la temperatura dei giorni precedenti diversamente da quanto trovato da altri autori. Altri fattori devono essere chiamati in causa per spiegarne gli andamenti temporali. Le variazioni osservate deviano da quanto trovato per altre specie sempreverdi [57; 62], ma Dillaway e Kruger [20] osservano simili deviazioni dal modello teorico per specie decidue di climi temperati. In particolare, gli alti valori di respirazione osservati nei mesi primaverili potrebbero servire ad alimentare processi che si intensificano durante la ripresa vegetativa e l'accrescimento [3; 28; 63]: l'aumento della richiesta metabolica di energia e composti intermedi, e i complessi meccanismi di rimobilitazione degli assimilati tra foglie vecchie e foglie nuove [22; 33], sono tra questi. I valori più alti di R_{18} non sono spiegabili neanche se consideriamo il tasso di assimilazione delle specie, che come noto, presentano massimi di fotosintesi nei periodi primaverili [35]. Infatti, in entrambi i siti, per *P. latifolia* e *A. unedo* gli abbassamenti significativi dell'assimilazione non coincidono con i minimi di R_{18} misurati (non è presente una omeostasi tra assimilazione e respirazione). Per *Q. ilex* è necessario fare un discorso più articolato: in questa specie, in accordo con i modelli teorici noti, la R_{18} diminuisce all'aumentare della temperatura [44]. Se i valori di respirazione misurati in primavera supportano l'ipotesi che la fenologia e il tasso metabolico della pianta possano influenzare le risposte della R_{18} alla temperatura ambientale, il picco di respirazione in questa specie si registra nel Luglio 2011 nel sito di PSN. Questo risultato chiama in causa un ulteriore fattore che può influenzare la R_{18} : la presenza di uno stress. Più in dettaglio, dai risultati ottenuti da questo studio emerge che stress di differente natura ed intensità, possono influenzare i processi catabolici in modo diverso. Mentre in risposta ad un periodo di stress idrico (Agosto 2010) la R_{18} diminuisce in entrambi i siti, quando lo stress è transitorio come nel Luglio 2011 dove sono presenti elevati valori di VPD, ma c'è una buona disponibilità idrica al suolo, la risposta della R_{18} cambia a seconda della specie, mostrando un tendenziale aumento. Sebbene tra temperatura e potenziale

idrico (aumentano entrambi durante il periodo estivo) sia presente un'autocorrelazione, e la distinzione tra l'effetto che i due fattori hanno sulla R_D sia complesso [57], nelle specie studiate lo stress idrico determina un abbassamento della R_{18} . Infatti è interessante sottolineare che in entrambi i siti, la R_{18} diminuisce quando cala la disponibilità idrica al suolo anche se le T medie dei 2 giorni precedenti sono molto diverse tra loro (19.3 °C a CP e 27.1 °C PSN). Questo meccanismo di risposta della R_{18} all'aridità, è stato osservato nei due siti sperimentali e in tutte e tre le specie studiate: potrebbe dunque essere generalizzato per le specie sempreverdi mediterranee. I nostri dati sembrano quindi non essere in accordo con il meccanismo proposto da Flexas *et al.*, [23], dato che nel nostro caso, per stress di breve durata (limitazione stomatica dovuta ad elevato VPD) il tasso di respirazione aumenta. Questo potrebbe consentire di evitare, o abbassare la produzione di specie reattive dell'ossigeno all'interno dei cloroplasti o anche per aumentare la produzione di ATP, utile a sostenere il turnover delle molecole proteiche del PSII (proteina D1) che sono quelle maggiormente soggette a danni in caso di limitazioni stomatiche della P_N . Per stress più intensi (bassa disponibilità idrica al suolo, $Y_{PD} < -3$ Mpa) la R_D diminuisce; ipotizziamo che questa diminuzione sia conseguenza di una strategia di *down-regulation* funzionale a cui le specie mediterranee vanno incontro per evitare una perdita di funzionalità diffusa dell'apparato fotosintetico e di conduzione [33; 34].

Alla variazione stagionale della temperatura le specie studiate rispondono modulando la respirazione basale mentre la sensibilità alla temperatura (Q_{10}) rimane pressoché invariata. Per quanto riguarda il processo di acclimatazione, è interessante evidenziare come dai dati raccolti emerge che le variazioni misurate in R_{18} non siano influenzate dal sito, e quindi dai differenti regimi di temperatura (Fig. 1) o dagli stress prevalenti. Solo in *A. unedo*, in accordo con quanto riscontrato in letteratura per specie sempreverdi in differenti biomi [56; 57; 58], si registra un significativo aumento del Q_{10} alle temperature più basse a cui si sono effettuate le misure (7.9°C, febbraio 2011), ma unicamente nel sito di CP. Questo risultato può essere ricondotto alle basse temperature raggiunte a CP (inferiori a quelle misurate a PSN). È stato suggerito che l'aumento del Q_{10} a basse temperature può essere dovuto ad una limitazione dell'attività catalitica degli enzimi coinvolti nel processo di respirazione [61; 10] più che alla disponibilità di substrato, dipendente a sua volta dal tasso di assimilazione. Nel nostro caso, non è presente un legame tra Q_{10} e P_{Nsat} : i tassi di assimilazione misurati a febbraio mostrano valori simili ai massimi primaverili (Fig. 6 a). Siamo portati dunque ad ipotizzare che questo aumento del Q_{10} potrebbe essere legato ad una molteplicità di meccanismi utili ad evitare fenomeni di fotoinibizione che danneggiano il PSII [15; 19; 45], e che tipicamente si verificano nel periodo invernale [55]. Tale interpretazione può essere supportata dall'analisi dei dati di fluorescenza che mettono in evidenza come non siano presenti né danni, né *down-regulation* del PSII nel periodo invernale. Inoltre il perché tale sensibilità aumenti solo in *A. unedo* e non nelle altre due specie, si può spie-

gare con un minore grado di sclerofillia per questa specie (Tab. 1). Tale caratteristica strutturale è spesso legata anche ad una minore quantità di azoto totale [39; 46; 47] e quindi una minore quantità di proteine disponibili [43; 64]. Possiamo dunque ipotizzare che l'aumento del Q_{10} avvenga per compensare una minore quantità di enzimi funzionali in questa specie. I meccanismi che spiegano le variazioni di R_{18} sono meno noti di quelli alla base delle variazioni di Q_{10} ; tendenzialmente le variazioni di R_{18} sono interpretate come conseguenza di un cambiamento nelle capacità respiratorie dei tessuti, legate essenzialmente ad un cambiamento nel numero di mitocondri, o di enzimi della catena respiratoria [7; 8]. Tuttavia questa spiegazione meccanicistica non soddisfa le evidenze sperimentali fino ad ora accumulate: infatti se le variazioni in R_{18} fossero imputabili solo a questi fattori, l'acclimatazione nelle specie sempreverdi, con un'emivita fogliare lunga e alti costi energetici per la produzione e il mantenimento, avverrebbe preferibilmente attraverso un cambiamento nella sensibilità della R_D alla temperatura (Q_{10}), piuttosto che della R_{18} [14].

Conclusioni

Nel nostro caso di studio i trend stagionali di R_{18} e Q_{10} in specie sempreverdi mediterranee non seguono gli andamenti attesi dai modelli di respirazione più utilizzati, temperatura o fotosintesi dipendenti; entrambi i parametri sono fortemente influenzati dallo stato funzionale complessivo della pianta (fenologia, modalità di risposta a stress ossidativi) e non sono chiaramente deducibili usando modelli meccanicistici che sfruttano le relazioni esistenti con le temperature medie, minime e massime dei siti, o con i tassi di assimilazione. Tale risultato si aggiunge alle crescenti evidenze sperimentali che considerando l'azione degli stress sull'acclimatazione della R_D , sottolineano come l'uso di modelli di produttività in cui il modulo della respirazione non tiene conto della variabilità possibile, può causare valutazioni erronee riguardo alla risposta che specie sempreverdi mediterranee avranno all'aumentare della temperatura. Tali fonti di errore possono aumentare quando si studiano ecosistemi costieri, vista la molteplicità di fattori di stress a cui sono sottoposti. L'attività sperimentale svolta in siti esposti a stress di diversa origine e intensità ha permesso di ipotizzare alcuni pattern di risposta della R_D e di individuare quali siano i fattori che maggiormente possono far deviare dalla norma il processo di acclimatazione. Tuttavia, la grande variabilità riscontrata tra le specie e nei diversi siti, pone l'attenzione sul fatto che, per arrivare ad una generalizzazione dei risultati, e quindi alla formulazione di un modello di stampo meccanicistico per la respirazione fogliare, deve essere considerata la grande capacità di specie mediterranee di attuare aggiustamenti e strategie di tolleranza agli stress [36]. È dunque auspicabile che, per meglio indagare e comprendere come i cambiamenti climatici in atto possano influire sulla funzionalità degli ecosistemi costieri, vengano effettuati esperimenti di lunga durata in condizioni di multi stress. Il monitoraggio e lo studio di come processi anabolici e catabolici vengono modulati in risposta a stress

abiotici naturali ed antropici, è essenziale per prevedere come possono variare i processi dinamici della vegetazione e per formulare piani di gestione delle aree costiere che ne rendano possibile la conservazione. Questo aspetto riveste una notevole importanza nel contesto degli studi effettuati all'interno della Tenuta Presidenziale di Castelporziano che costituisce un importante sito di naturalità nell'area metropolitana romana, e dove la vegetazione costiera garantisce alcuni servizi ecosistemici di grande rilevanza economica e naturalistica.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Acosta A., Ercole S., Stanisci A., De Patta Pillar V., and Blasi C. 2007. Coastal Vegetation Zonation and Dune Morphology in Some Mediterranean Ecosystems. *Journal of Coastal Research*, 23, 1518-1524.
- [2] Alessio G.A., De Lillis M., Brugnoli E., Lauteri M., 2004. Water sources and water-use efficiency in Mediterranean coastal dune vegetation. *Plant Biology*, 6, 350-357.
- [3] Amthor J.S., 2000. The McCree–de Wit–Penning de Vries–Thornley respiration paradigms: 30 years later. *Annals of Botany*, 86, 1-20.
- [4] Armstrong A.F., Logan D., Tobin A.K., O'Toole P., e Atkin O.K., 2006. Heterogeneity of plant mitochondrial responses underpinning respiratory acclimation to the cold in *Arabidopsis thaliana* leaves. *Plant, Cell and Environment*, 29, 940-949.
- [5] Atkin O.K., Atkinson L.J., Fisher R., Campbell C.D., Zaragoza-Castells J., Woodward F.I., Pitchford J., Hurry V., 2008. Using temperature-dependent changes in leaf scaling relationships to quantitatively account for thermal acclimation of respiration in a coupled global climate-vegetation model. *Global Change Biology*, 14, 2709-2726.
- [6] Atkin O.K., Bruhn D., Tjoelker M.G., 2005. Response of plant respiration to changes in temperature: mechanisms and consequences of variations in Q10 values and acclimation. In: Lambers H, Ribas-Carbó M, eds. *Plant Respiration: from Cell to Ecosystem*. Berlin, Germany: Springer, 95-135.
- [7] Atkin O.K., e Macherel D., 2009. The crucial role of plant mitochondria in orchestrating drought tolerance. *Annals of Botany* 103, 581-597.
- [8] Atkin O.K., Evans, J.R., Ball, M.C., Siebke, K., 1998. Relationship between the inhibition of leaf respiration by light and enhancement of leaf dark respiration following light treatment. *Australian Journal Plant Physiology*, 25, 437-443.
- [9] Atkin O.K., Holly C., Ball M.C., 2000. Acclimation of snow gum *Eucalyptus pauciflora* leaf respiration to seasonal and diurnal variations in temperature: the importance of changes in the capacity and temperature sensitivity of respiration. *Plant, Cell and Environment*, 23, 15-26.
- [10] Atkin O.K., Tjoelker M.G., 2003. Thermal acclimation and the dynamic response of plant respiration to temperature. *Trends in Plant Science*, 8, 343-351.
- [11] Bacchetta G., Casti M., Zavattero L., 2007. Analisi della vegetazione del distretto minerario di Montevecchio Sardegna sud-occidentale. *Fitosociologia*, 44, 83-108.
- [12] Baldocchi D.D., Ma S., Rambal S., Misson L., Ourcival J., Limousin J., Pereira J., e Papale D., 2010. On the differential advantages of evergreenness and deciduousness in mediterranean oak woodlands: a flux perspective. *Ecological Applications*, 20, 1583–1597.
- [13] Blasi, C. 1983. Carta del fitoclima del Lazio scala 1:250000 – Regione Lazio, Ass. agricoltura e foreste, caccia e pesca, usi civici, Università di Roma “La Sapienza”, Dipartimento di Biologia Vegetale, Roma, Italia.

- [14] Bruhn D., Egerton J.J.G., Loveys B.R., Ball M.C., 2007. Evergreen leaf respiration acclimates to long-term nocturnal warming under field conditions. *Global Change Biology*, 13, 1216-1223.
- [15] Busch F., Huner N.P.A., Ensminger I., 2007. Increased air temperature during simulated autumn conditions does not increase photosynthetic carbon gain but affects the dissipation of excess energy in seedlings of the evergreen conifer jack pine. *Plant Physiology*, 143, 1242-1251.
- [16] Bussotti F., Bottacci A., Grossoni P., Mori B. and Tani C., 1997. Cytological and structural changes in *Pinus pinea* L. needles following the application of an anionic surfactant. *Plant, Cell and Environment*, 20, 513-520.
- [17] Cori B., 1999. Spatial dynamics of Mediterranean coastal regions. *Journal of Coastal Conservation*, 5, 105-112.
- [18] Dat J., Vandenabeele S., Vranová E., Van Montagu M., Inzé, D., Van Breusegem F., 2000. Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 57, 779-795.
- [19] Demmig-Adams B., Adams W.W., 2006. Photoprotection in an ecological context: the remarkable complexity of thermal energy dissipation. *New Phytologist*, 172, 11-21.
- [20] Dillaway D.N., Kruger E.L., 2011. Leaf respiratory acclimation to climate: comparisons among boreal and temperate tree species along a latitudinal transect. *Tree Physiology*, 31, 1114-1127.
- [21] Fares S., Mereu S., Scarascia Mugnozza G., Vitale M., Manes F., Frattoni M., Ciccioli P., Gerosa G., Loreto F., 2009. The ACCENT-VOCBAS field campaign on biosphere-atmosphere interactions in a Mediterranean ecosystem of Castelporziano Rome: site characteristics, climatic and meteorological conditions, and eco-physiology of vegetation. *Biogeosciences*, 6, 1043-1058.
- [22] Fife D.N., Nambiar E.K.S., Saur E., 2008. Retranslocation of foliar nutrients in evergreen tree species planted in a Mediterranean environment. *Tree Physiology*, 28, 187-196.
- [23] Flexas J., Galmés J., Ribas-Carbo M., Medrano H., 2005. The effects of drought in plant respiration. In: Lambers H, Ribas-Carbo M. eds *Advances in Photosynthesis and Respiration 18. Plant Respiration: from Cell to Ecosystem*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 85-94.
- [24] Gerosa G., Finco A., Mereu S., Vitale M., Manes F., Ballarin-Denti A., 2009. Comparison of seasonal variations of ozone exposure and fluxes in a Mediterranean Holm oak forest between the exceptionally dry 2003 and the following year. *Environmental Pollution*, 157, 1737-1744.
- [25] Gifford R.M., 2003. Plant respiration in productivity models: conceptualization, representation and issues for global terrestrial carbon cycle research. *Functional Plant Biology*, 30, 171-186.
- [26] Gimeno T.E., Sommerville K.E., Valladares F., Atkin O.K., 2010. Homeostasis of respiration under drought and its important consequences for foliar carbon balance in a drier climate: insights from two contrasting *Acacia* species. *Functional Plant Biology*, 37, 323-333.
- [27] Giorgi E., Lionello P., 2008. Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change*, 63, 90-104.
- [28] Gordo O., Sanz J. J., 2010. Impact of climate change on plant phenology in Mediterranean ecosystems. *Global Change Biology*, 16, 1082-1106.
- [29] Griffiths M.E., Orians C.M., 2004. Salt spray effects on forest succession in rare coastal sandplain heathlands: evidence from field surveys and *Pinus rigida* transplant experiments. *Journal Torrey Botany Society*, 131, 23-31.
- [30] IPCC: *Climate change 2007: contribution of the three Working Groups to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate change*, Cambridge University Press.

- [31] Keuken M., Roemera M., Van den Elshoutb S., 2009. Trend analysis of urban NO₂ concentrations and the importance of direct NO₂ emissions versus ozone/NO_x equilibrium. *Atmospheric Environment*, 43, 4780-4783.
- [32] Kruse J., Rennenbergl H., Adams M. A. 2010. Steps towards a mechanistic understanding of respiratory temperature responses. *New Phytologist*, 189, 659-677.
- [33] Manes F., Astorino G., Vitale M., Loreto F., 1997. Morpho-functional characteristics of *Quercus ilex* L. leaves of different age and their ecophysiological behaviour during different seasons. *Plant Biosystems*, 131, 149-158.
- [34] Manes F., De Santis F., Giannini M. A., Vazzana C., Capogna F. and Allegrini I., 2003. Integrated ambient ozone evaluation by passive samplers and clover biomonitoring mini-stations. *Science Total Environment*, 308, 133-141.
- [35] Manes F., Grignetti A., Tinelli A., Lenz R., Cicciooli P., 1997. The BEMA project: general features of Castelporziano test site. *Atmospheric Environment*, 31, 19-25.
- [36] Manes F., Vitale M., Donato E., Giannini M., Puppi G., 2006. Different ability of three Mediterranean oak species to tolerate progressive water stress. *Photosynthetica*, 44, 387-393.
- [37] Manes F., Vitale M., Fabi M.A., De Santis F., Zona D., 2007. Estimates of potential ozone stomatal uptake in mature trees of *Quercus ilex* in a Mediterranean climate. *Environmental and Experimental Botany*, 59, 235-241.
- [38] McDowell N., Pockman W.T., Allen C.D., Breshears D.D., Cobb N., Kolb T., Sperry J., West A., Williams D., Yepez E.A., 2008. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *Tansley review. New Phytologist*, 178, 719-739.
- [39] Mediavilla S., Gallardo-López V., González-Zurdo P., Escudero A., 2011. Patterns of leaf morphology and leaf N content in relation to winter temperatures in three evergreen tree species. *International Journal of Biometeorology*, DOI: 10.1007/s00484-011-0498-2.
- [40] Mereu S., Gerosa G., Finco A., Fusaro L., Muys B., and Manes F., 2009. Improved sapflow methodology reveals considerable night-time ozone uptake by Mediterranean species. *Biogeosciences*, 6, 3151-3162.
- [41] Mereu S., Gerosa G., Marzuoli R., Fusaro L., Salvatori E., Finco A., Spano D., Manes F., 2011. Gas exchange and JIP-test parameters of two Mediterranean maquis species are affected by sea spray and ozone interaction. *Environmental and Experimental Botany*, 73, 80-88.
- [42] Mereu S., Salvatori E., Fusaro L., Gerosa G., Muys B., and Manes F., 2009. A whole plant approach to evaluate the water use of mediterranean maquis species in a coastal dune ecosystem. *Biogeosciences*, 6, 1713-1746.
- [43] Møller I.M., 2001. Plant mitochondria and oxidative stress: electron transport, NADPH turnover, and metabolism of reactive oxygen species. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 52, 561-591.
- [44] Muller M., Hernandez I., Alegre L., Munné-Bosch S., 2006. Enhanced a-tocopherol quinone levels and xanthophyll cycle de-epoxidation in rosemary plants exposed to water deficit during a Mediterranean winter. *Journal of Plant Physiology*, 163, 601-606.
- [45] Noguchi K., Yoshida K., 2008. Interaction between photosynthesis and respiration in illuminated leaves. *Mitochondrion*, 8, 87-99.
- [46] Poorter L., Bongers F., 2006. Leaf traits are good predictors of plant performance across 53 rain forest species. *Ecology*, 87, 1733-1743.
- [47] Reich P.B., Ellsworth D.S., Walters M.B., Vose J.M., Gresham C., Volin J.C., Bowman W.D., 1999. Generality of leaf trait relationships: a test across six biomes. *Ecology*, 80, 1955-1969.
- [48] Rettori A., Paoletti E., Nicolotti G., Gullino, M.L., 2005. Ecophysiological responses of Mediterranean pines to simulated sea aerosol polluted with an anionic surfactant: prospects for biomonitoring. *Annals Forest Science*, 62, 351-360.

- [49] Ribas-Carbo M., Taylor N.L., Giles L., Busquets S., Finnegan P.M., Day D., Lambers H., Medrano H., Berry J.A., Flexas J., 2005. Effects of water stress on respiration in soybean *Glycine max.* L. leaves. *Plant Physiology*, 139, 466-473.
- [50] Rivas Martínez S., Díaz T.E., Izco J., Fernández-González F., Loidi J., Lousã M., Penas Á., 2002. Vascular plant communities of Spain and Portugal. Addenda to the syntaxonomical checklist of 2001. *Itinera Geobotanica*, 15, 5-922.
- [51] Rodríguez-Calcerrada J., Jaeger C., M. Limousin J., M. Ourcival J., Joffre R. and Rambal S., 2011. Leaf CO₂ efflux is attenuated by acclimation of respiration to heat and drought in a Mediterranean tree. *Functional Ecology*, 25, 983-995.
- [52] Rodríguez-Calcerrada J., Shahin O., del Carmen del Rey M., Rambal S., 2011. Opposite changes in leaf dark respiration and soluble sugars with drought in two Mediterranean oaks. *Functional Plant Biology*, 38, 1004-1015.
- [53] Sanchez-Blanco M.J., Rodrigues P., Morales M.A. and Torrecillas A., 2003. Contrasting physiological responses of dwarf sea-lavender and Marguerite to simulated sea spray deposition. *Journal of Environmental Quality*, 32, 1931-1938.
- [54] Sanchez-Blanco M.J., Rodrigues P., Olmos E., Morales M.A. and Torrecillas A., 2004. Differences in the effects of simulated sea spray on water relations, salt content and leaf ultrastructure of rock-rose plants. *Journal of Environmental Quality*, 33, 1369-1375.
- [55] Silva-Cancino M. C., Esteban R., Artetxe U. and Plazaola J. I. G., 2012. 144, 289-301. Patterns of spatio-temporal distribution of winter chronic photoinhibition in leaves of three evergreen Mediterranean species with contrasting acclimation responses. *Physiologia Plantarum*, 144, 289-301.
- [56] Sitch S., Huntingford C., Gedney N., Levy P.E., Lomas M., Piao S.L., Betts R., Ciais P., Cox P., Friedlingstein P., Jones C.D., Prentice I.C., Woodward F.I., 2008. Evaluation of the terrestrial carbon cycle, future plant geography and climate-carbon cycle feedbacks using five Dynamic Global Vegetation Models (DGVMs). *Global Change Biology*, 14, 2015-2039.
- [57] Slot M., Zaragoza-Castells J., Atkin OK., 2008. Transient shade and drought have divergent impacts on the temperature sensitivity of dark respiration in leaves of *Geum urbanum*. *Functional Plant Biology*, 35, 1135-1146.
- [58] Stockfors J., Linder S., 1998. The effect of nutrition on the seasonal course of needle respiration in Norway spruce stands. *Trees*, 12, 130-138.
- [59] Strasser R.J., Tsimilli-Michael M., Srivastava A., 2004. Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient, in: *Advances in Photosynthesis and Respiration Series, Chlorophyll a Fluorescence: a Signature of Photosynthesis* G.C. Papageorgiou, Govindjee (Eds.), 19, Springer, Dordrecht, The Netherlands, 321-362.
- [60] Strasser R.J., Tsimilli-Michael M., Qiang S., Goltsev V., 2010. Simultaneous in vivo recording of prompt and delayed fluorescence and 820-nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1797, 1313-1326.
- [61] Tjoelker M.G., Oleksyn J., Reich P.B., 2001. Modelling respiration of vegetation: evidence for a general temperature-dependent Q₁₀. *Global Change Biology*, 7, 223-230.
- [62] Tjoelker M.G., Oleksyn J., Reich P.B., e Zytkowskiak R., 2008. Coupling of respiration, nitrogen, and sugars underlies convergent temperature acclimation in *Pinus banksiana* across wide-ranging sites and populations. *Global Change Biology*, 14, 782-797.
- [63] Trumbore S. 2006. Carbon respired by terrestrial ecosystems – recent progress and challenges. *Global Change Biology*, 12, 141-153.
- [64] Wiskich J.T. and Dry, I.B., 1985. The tricarboxylic acid cycle in plant mitochondria: its operation and regulation. In: *Encyclopaedia of Plant Physiology. Higher Plant Cell Respiration*. Douce, R. and Day, D.A., eds Springer Verlag, 281-313.

- [65] Wythers K.R., Reich P.B., Tjoelker M.G. and Bolstad P.B., 2005. Foliar respiration acclimation to temperature and temperature variable Q₁₀ alter ecosystem carbon balance. *Global Change Biology*, 11, 435-449.
- [66] Xu C.Y., and Griffin K. L., 2006. Seasonal variation in the temperature response of leaf respiration in *Quercus rubra*: foliage respiration and leaf properties. *Functional Ecology*, 20, 778-789.
- [67] Zaragoza-Castells J., Sánchez-Gómez D., Hartley I. P., Matesanz S., Valladares F., Lloyd J., Atkin O.K., 2008. Climate-dependent variations in leaf respiration in a dry-land, low productivity Mediterranean forest: the importance of acclimation in both high-light and shaded habitats. *Functional Ecology*, 22, 172-184.

LORETTA GRATANI¹ – ROSANGELA CATONI¹
MARIA FIORE CRESCENTE¹ – ANDREA BONITO¹ – LAURA VARONE¹

Soglia di tolleranza ai fattori di stress di specie sempreverdi mediterranee

Abstract – *Tolerance to stress factors of Mediterranean evergreen species.* Physiological, morphological and anatomical leaf traits of the Mediterranean evergreen species growing inside the Presidential Estate of Castelporziano were analysed. *Rosmarinus officinalis* L., *Erica arborea* L. and *Erica multiflora* L. have the lowest photosynthetic rates (P_N) in the favourable period ($8.3 \pm 0.7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, mean value) and the highest P_N decrease in drought (on an average 75% of the maximum). *Cistus incanus* L. and *Arbutus unedo* L. have the highest P_N rates during the favourable period ($16.7 \pm 3.7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, mean value) and a high decrease during drought (70% compared to the maximum). *Quercus ilex* L., *Phillyrea latifolia* L. and *Pistacia lentiscus* L. have intermediate P_N rates in the favourable period ($11.2 \pm 0.2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, mean value) and the significant lowest decrease during drought (on an average 47%). With respect to global change, *P. latifolia* might be at a competitive advantage to the other considered species by the lowest sensibility to the high air temperatures and the high leaf mass area (LMA) and leaf tissue density (LTD) which limit transpiration rates during drought.

Key words: leaf water potential, LMA, LTD, Mediterranean species, gas exchange.

Sommario – Sono stati analizzati i tratti fisiologici, morfologici e anatomici delle specie sempreverdi mediterranee presenti nella macchia mediterranea che si sviluppa lungo il litorale laziale all'interno della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Fra le specie esaminate *Rosmarinus officinalis* L., *Erica arborea* L. ed *Erica multiflora* L. mostrano i tassi fotosintetici (P_N) più bassi nel periodo favorevole ($8.3 \pm 0.7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, valore medio) e il maggiore decremento in aridità (75%), mentre *Cistus incanus* L. ed *Arbutus unedo* L. i tassi più alti di P_N durante il periodo favorevole ($16.7 \pm 3.7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, valore medio) e un alto decremento in aridità (in media il 70% rispetto al massimo). *Quercus ilex* L., *Phillyrea latifolia* L. e *Pistacia lentiscus* L. mostrano tassi intermedi di P_N durante il periodo favorevole ($11.2 \pm 0.2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, valore medio) e il più basso decremento in aridità (in media del 47%). Fra le specie analizzate *P. latifolia* potrebbe avere un vantaggio competitivo rispetto alle altre

¹ Dipartimento di Biologia Ambientale, Sapienza Università di Roma – P.le Aldo Moro 5, 00185 Roma.

specie, in considerazione del cambiamento climatico, per la sua minore sensibilità alle elevate temperature e per l'elevato valore della massa fogliare specifica (LMA) e della densità cellulare del mesofillo (LTD) che limitano la traspirazione nei periodi di aridità.

Parole chiave: LMA, LTD, potenziale idrico, scambi gassosi, specie mediterranee

Introduzione

L'aridità è uno dei fattori maggiormente incidenti sul bilancio del carbonio delle specie che si sviluppano in condizioni di clima Mediterraneo, in particolare quando lo stress idrico è associato a temperature elevate e a livelli elevati di irradiazione [4; 9; 10; 21; 24]. Le previsioni sul clima includono l'aspettativa che nel Bacino del Mediterraneo l'aumento dell'intensità e della lunghezza dello stress da aridità possa essere un fattore discriminante la presenza delle specie, in particolare di quelle più sensibili, con possibili cambiamenti della vegetazione nel corso del tempo [5; 23; 25].

La capacità di risposta delle specie mediterranee all'aridità è determinata da specifici tratti morfologici, anatomici e fisiologici, quali l'elevato valore del peso fogliare specifico (LMA) e della densità cellulare del mesofillo (LTD), che migliorano la resistenza all'aridità riducendo i danni fotochimici all'apparato fotosintetico [2; 7; 8; 13]. Elevati valori di LMA sono frequentemente associati a una ridotta capacità fotosintetica per unità di massa fogliare [28] a cui contribuisce una elevata resistenza al trasferimento della CO₂ all'interno del mesofillo fogliare [16; 20]. Valori elevati di LMA sono inoltre correlati ad una elevata longevità fogliare [11; 20].

In tale contesto l'obiettivo della presente ricerca è stato quello di definire la soglia di tolleranza delle specie sempreverdi mediterranee ai fattori di stress ed in particolare alle elevate temperature. La ricerca dei tratti fogliari legati alla capacità di resistenza è uno dei punti chiave per comprendere le strategie adattative delle specie mediterranee, anche in considerazione del cambiamento climatico.

Materiali e Metodi

Area di studio

Lo studio è stato condotto nel corso dell'anno 2010 in un aspetto a macchia mediterranea che si sviluppa all'interno della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (41°45'N; 12°26'E, Roma), caratterizzato da un'altezza media degli arbusti di 1.0±0.5 m e da un valore dell'indice di area fogliare (LAI) di 2.5.

Il clima dell'area è di tipo mediterraneo: le precipitazioni annuali (717 mm) sono distribuite per la maggior parte in autunno-inverno, la temperatura media minima (T_{min}) del mese più freddo (febbraio) è di 3.9±1.6 °C, la temperatura media massima (T_{max}) del mese più caldo (agosto) di 30.6±1.4 °C e la temperatura media

(T_m) annuale di 15.8 ± 5.9 °C. Il periodo di aridità interessa i mesi di giugno, luglio e agosto (59 mm di pioggia totale) (dati forniti dall'Osservatorio centro multidisciplinare per gli Ecosistemi costieri mediterranei ed autorizzati dalla Commissione Tecnico-Scientifica di Castelporziano, per il periodo 1985-2009).

Le misure sono state condotte su individui rappresentativi di *Quercus ilex* L., *Phillyrea latifolia* L., *Pistacia lentiscus* L., *Arbutus unedo* L., *Cistus incanus* L., *Erica arborea* L., *Erica multiflora* L. e *Rosmarinus officinalis* L. (10 arbusti per ciascuna specie).

Morfologia fogliare

L'analisi delle caratteristiche morfologiche fogliari è stata condotta su foglie di sole a massima espansione (20 per specie). Le misure hanno riguardato la determinazione della superficie fogliare (SF, cm^2), ottenuta utilizzando il Sistema di Analisi di Immagini Delta – T Devices (UK) e il peso secco fogliare (PS, mg) dopo essiccazione in stufa ventilata a 80°C fino al raggiungimento del peso costante. La massa fogliare specifica (LMA, mg cm^{-2}) è stata calcolata dal rapporto fra PS e SF [15]. La densità tessutale fogliare (LTD, mg cm^{-3}) è stata calcolata dividendo il valore di LMA per lo spessore della lamina fogliare, in accordo a Wright e Westoby [27].

Anatomia fogliare

Lo spessore della lamina fogliare (SL, μm) è stato misurato su sezioni di foglie di sole a massima espansione ($n = 20$ per specie) osservate al microscopio ottico. Il volume degli spazi intercellulari è stato calcolato come percentuale del volume totale [1]. Tutte le misure sono state determinate su porzioni di lamina prive di nervature [3]. Il volume degli spazi intercellulari nel mesofillo è stato calcolato come percentuale del volume totale [1].

Scambi gassosi

Le misure degli scambi gassosi sono state condotte nel corso dell'anno dalle 8.00 alle 12.00 su foglie di sole a massima espansione (tre foglie per arbusto e per ogni occasione di campionamento). La fotosintesi netta (P_N , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), la conduttanza stomatica (g_s , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), la traspirazione fogliare (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), la temperatura fogliare (T_f , °C) e la radiazione fotosinteticamente attiva (PAR, $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$) sono state misurate utilizzando l'analizzatore portatile Ciras-1 open system (PP Systems, UK), equipaggiato con una camera fogliare di 2.5 cm^2 di superficie (Parkinson Leaf Cuvette, UK). Per *E. arborea*, *E. multiflora* e *R. officinalis* è stata utilizzata una camera specifica per foglie aghiformi (Parkinson Narrow Leaf Cuvette, UK), in cui è stata inserita, per l'intera lunghezza della camera, la parte apicale dei rami. Dal rapporto fra P_N ed E è stata calcolata l'efficienza nell'uso dell'acqua (WUE, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$) [15].

Potenziale idrico e RWC

Il potenziale idrico all'alba (Ψ , MPa) è stato misurato sugli arbusti selezionati (10 foglie di sole a massima espansione per ogni specie e per ogni occasione di campionamento), utilizzando una camera a pressione portatile (SKPM 1400, Skye Instruments, UK) in occasione della misura degli scambi gassosi.

Il contenuto idrico relativo misurato all'alba (RWC, %) è stato calcolato sulle stesse foglie utilizzate per la misura del Ψ come $RWC = (PF-PS)/(P_{sat}-PS) \times 100$, dove PF è il peso fresco fogliare, PS il peso secco fogliare e P_{sat} il peso a saturazione, ottenuto dopo reidratazione al buio per 48 h a una temperatura di 5°C [17].

Analisi statistica

L'elaborazione statistica dei dati è stata effettuata usando il programma di analisi statistica, Statistica, Statsoft (USA). L'analisi della varianza (ANOVA) ed il test di Tukey per le comparazioni multiple sono stati usati per determinare le differenze tra le medie delle variabili considerate. Le relazioni tra le variabili considerate sono state valutate mediante l'analisi di regressione che ha permesso di calcolare i relativi coefficienti di correlazione (r). La relazione tra P_N e T_f espressa da una curva polinomiale di secondo grado ha permesso di calcolare l'intervallo di temperatura favorevole all'accumulo di biomassa ("photosynthetic thermal window") [14].

L'analisi dei discriminanti è stata effettuata per determinare quali tra le variabili fogliari considerate fossero le più discriminanti tra le specie considerate [18; 19]. Il contributo di ogni variabile alla discriminazione globale tra le specie è stato valutato mediante il lambda di Wilks parziale (minore è il lambda di Wilks parziale, maggiore è il potere discriminante). L'analisi dei discriminanti è stata condotta considerando i valori delle variabili analizzate separatamente in condizioni ottimali e in condizioni di stress da aridità.

Risultati

Morfologia fogliare

SF varia significativamente fra le specie considerate: *E. arborea* presenta la più bassa SF (0.030 ± 0.005 cm²) fra le aghiformi, mentre *P. latifolia* ($SF = 3.6 \pm 0.6$ cm²) fra le tipiche sclerofille.

LMA varia significativamente ($p < 0.05$) fra le specie considerate: *E. multiflora*, *P. latifolia* e *Q. ilex* mostrano i valori più elevati (21.5 ± 1.6 mg cm⁻², valore medio) mentre *E. arborea*, *C. incanus* e *A. unedo* i più bassi (14.0 ± 2.4 mg cm⁻², valore medio).

LTD varia da 662 ± 16 mg cm⁻³ in *E. multiflora* a 490 ± 11 mg cm⁻² in *A. unedo*.

Anatomia fogliare

Fra le specie considerate *P. latifolia*, *E. multiflora* e *Q. ilex* hanno i valori significativamente ($p \leq 0.05$) più elevati di SL ($370 \pm 31 \mu\text{m}$, valore medio) mentre *C. incanus* e *E. arborea* i più bassi ($229 \pm 16 \mu\text{m}$, valore medio).

Il volume degli spazi intercellulari nel mesofillo è più basso in *E. arborea*, *E. multiflora* e *R. officinalis* ($26 \pm 2\%$, valore medio), seguite da *Q. ilex*, *P. latifolia*, *P. lentiscus* ($32 \pm 2\%$, valore medio) e da *A. unedo* e *C. incanus* ($37 \pm 1\%$, valore medio).

Scambi gassosi

L'attività fotosintetica delle specie considerate presenta lo stesso andamento nel corso dell'anno sebbene i tassi netti varino significativamente: *C. incanus* e *A. unedo* mostrano i tassi più alti ($P_N = 16.7 \pm 3.7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, valore medio) durante il periodo favorevole (aprile-maggio, $T_m = 13.9 - 16.9 \text{ }^\circ\text{C}$, pioggia totale 175 mm), seguiti da *Q. ilex*, *P. lentiscus*, *P. latifolia* ($11.2 \pm 0.2 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, valore medio) e da *E. arborea*, *E. multiflora* e *R. officinalis* ($8.3 \pm 0.7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, valore medio).

Nel periodo di aridità (luglio e agosto, $T_{\text{max}} = 33.4 - 35.9 \text{ }^\circ\text{C}$, pioggia totale 23 mm) si osserva un decremento significativo dei tassi di P_N , in particolare *R. officinalis* e *C. incanus* mostrano il più alto decremento rispetto al valore massimo (83%, valore medio), seguiti da *E. multiflora* e *E. arborea* (71% valore medio), *A. unedo*, *Q. ilex*, *P. lentiscus* (53%, valore medio) e *P. latifolia* (35%).

A metà settembre le specie considerate mostrano un incremento significativo di P_N , sebbene la capacità di recupero vari fra le specie considerate: *R. officinalis*, *E. arborea* e *E. multiflora* mostrano la maggiore capacità di recupero (80% del massimo, valore medio), seguite da *Q. ilex* e *P. latifolia* (67%, valore medio delle due specie), *C. incanus* e *A. unedo* (57%, valore medio delle due specie) e *P. lentiscus* (43%).

In inverno (gennaio e febbraio, $T_{\text{min}} = 4.5 - 5.4 \text{ }^\circ\text{C}$) le specie considerate mostrano un decremento in media del 30% rispetto al valore massimo: in particolare *C. incanus* e *A. unedo* mostrano il decremento più elevato (35% del massimo) e *Q. ilex* quello più basso (15%).

g_s delle specie considerate presenta lo stesso andamento di P_N , con i valori più elevati nel periodo favorevole ($184 \pm 84 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$, valore medio) e un decremento del 57% (valore medio) durante il periodo di aridità. In particolare rispetto al valore massimo, *R. officinalis* presenta il decremento più elevato (74%) e *P. latifolia* il più basso (33%). In inverno, in media, le specie considerate presentano un decremento del 44% rispetto al massimo.

Durante il periodo di aridità *C. incanus* e *A. unedo* mostrano i tassi più alti di E ($2.10 \pm 0.10 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$, valore medio) e *R. officinalis* il più basso ($0.79 \pm 0.01 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

Durante il periodo di aridità *R. officinalis*, *E. multiflora* e *C. incanus* mostrano

i valori più bassi di WUE ($1.6 \pm 0.2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$), *Q. ilex*, *P. latifolia* e *P. lentiscus* il più alto ($3.7 \pm 0.8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$), mentre *A. unedo* ed *E. arborea* mostrano valori intermedi ($2.2 \pm 0.3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$).

Status idrico

Durante il periodo favorevole le specie considerate hanno in media un Ψ di -0.13 ± 0.04 MPa, mentre differenze significative si osservano nel periodo di aridità: in particolare *R. officinalis*, *E. multiflora* e *C. incanus* hanno i valori più negativi di Ψ (-1.18 ± 0.21 MPa valore medio), seguiti da *Q. ilex* e *P. latifolia* (-0.89 ± 0.12 MPa, valore medio), *A. unedo* e *E. arborea* (-0.63 ± 0.2 MPa, valore medio) e *P. lentiscus* (-0.30 ± 0.05 MPa).

Q. ilex, *P. latifolia*, *P. lentiscus* e *E. arborea* presentano nel corso dell'anno la più bassa variazione di RWC mentre *C. incanus*, *E. multiflora* e *R. officinalis* la più alta.

Analisi di regressione

L'analisi di regressione sottolinea una correlazione significativa ($p < 0.05$) fra P_N e g_s per le specie considerate e, in media, il 52% delle variazioni di P_N dipendono da g_s . Inoltre g_s è significativamente ($p \leq 0.05$) correlato a Ψ ($r^2 = 0.31$, valore medio). La relazione polinomiale fra P_N e T_f mette in evidenza che il 90-100% dei tassi fotosintetici per le specie considerate avvengono nel range di temperatura da 14.6 a 29.8 °C e che un decremento del 50% rispetto al massimo si verifica al di sopra di 32.5°C in *C. incanus*, 33.4°C in *A. unedo*, *E. multiflora* e *R. officinalis*, 35.3°C in *Q. ilex*, 37.2°C in *P. latifolia* e *E. arborea* e 38.3°C in *P. lentiscus*.

Analisi dei discriminanti

L'analisi dei discriminanti evidenzia come fra tutti i tratti considerati (morfologici, anatomici e fisiologici) le variabili che significativamente discriminano tra le specie considerate siano SL (λ parziale di Wilks = 0.0736), SF (λ parziale di Wilks = 0.0730), LMA (λ parziale di Wilks = 0.1022), P_N (λ parziale di Wilks = 0.4138) e Ψ (λ parziale di Wilks = 0.7353), sebbene in condizioni di stress P_N e Ψ abbiano un ruolo più discriminate.

Discussione

I risultati nel loro insieme sottolineano una diversa soglia di tolleranza delle specie sempreverdi mediterranee considerate ai fattori di stress che mette in evidenza diverse strategie di adattamento.

Da un punto di vista fisiologico *R. officinalis*, *E. arborea* ed *E. multiflora* sono caratterizzate dai tassi fotosintetici più bassi ($8.3 \pm 0.7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, valore

medio) nel periodo favorevole, quando la temperatura media è nel range 13.9 – 16.9 °C e la disponibilità idrica è ottimale (175 mm pioggia totale del periodo aprile – maggio), dal maggiore decremento in aridità (75% del massimo, valore medio), dalla più alta capacità di recupero (80% del massimo, valore medio) dopo le prime piogge estive e da bassi tassi fotosintetici ($5.7 \pm 0.7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, valore medio) in inverno ($T_{\text{min}} = 4.5 - 5.4 \text{ °C}$). Al contrario *C. incanus* e *A. unedo* hanno i più alti tassi fotosintetici nel periodo favorevole ($16.7 \pm 3.7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, valore medio), un decremento elevato in aridità (70% del massimo), un decremento del 35% (valore medio) in inverno e una bassa capacità di recupero (57% del massimo, valore medio). *Q. ilex*, *P. latifolia* e *P. lentiscus* mostrano tassi di fotosintesi netta intermedi nel periodo favorevole ($11.2 \pm 0.2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, valore medio), il più basso decremento in aridità (47% del massimo), un decremento in inverno del 23% ed una capacità di recupero del 59% rispetto al massimo.

Le differenze nei tassi di fotosintesi netta in risposta alla variazione dei fattori climatici possono essere giustificate dalla diversa sensibilità delle specie considerate alla temperatura, confermata dalla relazione polinomiale fra i tassi netti di fotosintesi e la temperatura fogliare. L'analisi della correlazione fra le due variabili indica che il 90-100% dei tassi fotosintetici delle specie considerate è nel range 14.6-29.8°C, tuttavia i tassi fotosintetici scendono al di sotto del 50% quando la temperatura fogliare è al di sopra di 32.5°C in *C. incanus*, 33.4 °C in *A. unedo*, *E. multiflora* e *R. officinalis*, 35.3 in *Q. ilex*, 37.2 °C in *E. arborea* and *P. latifolia* e sopra 38.3 in *P. lentiscus*. Considerando che l'accumulo della biomassa è drasticamente ridotto quando i tassi di fotosintesi scendono al di sotto del 50% del massimo [14] si può ipotizzare una diversa capacità di risposta delle specie considerate al previsto aumento della temperatura nel Bacino del Mediterraneo. La conduttanza stomatica segue l'andamento della fotosintesi con i più alti valori nel periodo favorevole e i più bassi in aridità. La correlazione significativa ($p \leq 0.05$) fra le due variabili sottolinea come il 52% delle variazioni di P_N dipendano dalla g_s , sebbene le specie considerate mostrano differenze significative. In particolare gli elevati valori di g_s in *C. incanus* e *A. unedo* contribuiscono a determinare tassi elevati di traspirazione (in media $2.10 \pm 0.10 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) in aridità, giustificati dagli ampi spazi intercellulari presenti nel mesofillo, in accordo a Parkhurst [22]. Per quanto riguarda le relazioni idriche, i valori meno negativi di Ψ in *Q. ilex*, *P. latifolia*, *P. lentiscus* e *E. arborea*, associati a valori elevati di RWC, in particolare durante l'aridità, sono dovuti alla loro capacità di accedere all'acqua disponibile negli strati del suolo meno soggetti a variazioni idriche [12]. Al contrario l'ampia variazione di Ψ durante l'anno e i bassi valori in aridità associati a un basso RWC in *R. officinalis*, *C. incanus* e *E. multiflora* sono in relazione al loro apparato radicale superficiale che ha accesso agli strati di suolo più soggetti alle fluttuazioni del contenuto in acqua. Tali risultati trovano riscontro nei valori più alti di WUE monitorati in aridità in *Q. ilex*, *P. latifolia* e *P. lentiscus* ($3.7 \pm 0.8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$, valore medio) rispetto a quelli monitorati in *R. officinalis*, *E. multiflora* e *C. incanus* ($1.6 \pm 0.2 \mu\text{mol mmol}^{-1}$, valore medio).

Da un punto di vista morfologico e anatomico gli elevate valori di LMA (20.4 ± 0.4 mg cm⁻², valore medio) e di LTD (571 ± 38 mg cm⁻³, valore medio) in *P. latifolia*, *Q. ilex* e *P. lentiscus*, giustificano la maggiore capacità di resistenza in aridità e *P. latifolia* mostra il valore più elevato di LMA.

Considerando il previsto aumento dell'intensità e della lunghezza dello stress da aridità nel Bacino del Mediterraneo e considerando che la fotosintesi delle specie mediterranee è frequentemente limitata dalla presenza di condizioni sub-ottimali (deficit idrico, alta intensità luminosa associata ad alte temperature) si possono prevedere cambiamenti nell'abbondanza e nella distribuzione delle specie considerate nel corso del tempo, in relazione alla loro diversa capacità di risposta ai fattori di stress. *P. latifolia*, caratterizzata dal più alto valore di LMA, associato ad un elevato valore di LTD, un apparato radicale che si spinge in profondità e una bassa sensibilità alle elevate temperature, potrebbe avere un vantaggio competitivo sulle altre specie, considerando anche che la sua elevata longevità fogliare [6; 7] contribuisce a determinare una biomassa stabile nel corso dell'anno. Al contrario *R. officinalis*, sebbene caratterizzato da una elevata capacità di recupero dopo l'aridità estiva, mostra tuttavia la più bassa tolleranza alle elevate temperature; in tal senso *R. officinalis* potrebbe essere utilizzato come indicatore del cambiamento climatico. Lo stretto legame fra la fotosintesi netta e l'accumulo della biomassa suggerisce che la fotosintesi può essere utilizzata come un appropriato indicatore delle limitazioni funzionali imposte dalla variazione dei fattori ambientali, in particolare dalla temperatura che ne controlla l'ampiezza della risposta.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica, la Direzione della Tenuta di Castelporziano, la Commissione Tecnico-Scientifica di Castelporziano e l'Osservatorio centro multidisciplinare per gli Ecosistemi costieri mediterranei per aver consentito lo svolgimento di questi studi e la pubblicazione dei dati ottenuti.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bolhàr-Nordenkampf H.R., G. Draxler, 1993. Functional anatomy. In: *Photosynthesis and Production in a Changing Environment. A Field and Laboratory Manual*. (D.O. Hall, J.M.O. Scurlock, H.R. Bolhàr-Nordenkampf, R.C. Leegood, S.P. Lang, ed.), Chapman and Hall, London, UK, 91-112.
- [2] Castro-Díez P., P. Villar-Salvador, C. Pérez-Rontomé, M. Maestro-Martínez, G. Montserrat-Martí, 1998. Leaf morphology, leaf chemical composition and stem xylem characteristics in two *Pistacia* (Anacardiaceae) species along climatic gradient. *Flora*, 193, 195-202.
- [3] Chabot B.F., J.F. Chabot, 1977. Effects of light and temperature on leaf anatomy and photosynthesis in *Fragaria vesca*. *Oecologia*, 26, 363-377.

- [4] Chirino E., J. Bellot, J.R. Sánchez, 2011. Daily sap flow rate as an indicator of drought avoidance mechanisms in five Mediterranean perennial species in semi-arid southeastern Spain. *Trees - Structure and Function.*, 25, 593-606.
- [5] Grassi G., F. Ripullone, M. Borghetti, S. Raddi, F. Magnani, 2009. Contribution of diffusional and non-diffusional limitations to midday depression of photosynthesis in *Arbutus unedo* L. *Trees - Structure and Function.*, 23, 1149-1161.
- [6] Gratani L., M.F. Crescente, 1997. Phenology and leaf adaptive strategies of Mediterranean maquis plants. *Ecologia Mediterranea*, 23, 11-19.
- [7] Gratani L., A. Bombelli, 2001. Differences in leaf traits among Mediterranean broad-leaved evergreen shrubs. *Annales Botanici Fennici*, 38, 15-24.
- [8] Gratani L., E. Ghia, 2002. Adaptive strategy at the leaf level of *Arbutus unedo* L. to cope with Mediterranean climate. *Flora*, 197, 275-284.
- [9] Gratani L., L. Varone, 2004a. Leaf key traits of *Erica arborea* L., *Erica multiflora* L. and *Rosmarinus officinalis* L. co-occurring in the Mediterranean maquis. *Flora*, 199, 58-69.
- [10] Gratani L., L. Varone, 2004b. Adaptive photosynthetic strategies of the Mediterranean maquis species according to their origin. *Photosynthetica*, 42, 551-558.
- [11] Gratani L., L. Varone, 2006. Long-time variations in leaf mass and area of Mediterranean evergreen broad-leaf and narrow-leaf maquis species. *Photosynthetica*, 44, 161-168.
- [12] Gratani L., M. Amadori, L. Veri, F. Bruno, M. Porri, 1980. Determinazione di un metodo di stima della biomassa nella macchia di Castelporziano (Lazio). *Annali di Botanica, Roma*, 41, 131-151.
- [13] Hernández E.I., A. Vilagrosa, J.G. Pausas, J. Bellot, 2010. Morphological traits and water use strategies in seedlings of Mediterranean coexisting species. *Plant Ecology*, 207, 233-244.
- [14] Larcher W., 1994. Photosynthesis as a tool for indicating temperature stress events. In *Ecophysiology of Photosynthesis* (E.D. Schulze, M.M.Caldwell, ed.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 261-277.
- [15] Larcher W. (ed.), 2003. *Physiological Plant Ecology*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 513 pp.
- [16] Lloyd J., J.P. Syvertsen, P.E. Kriedemann, G.D. Farquhar, 1992. Low conductance for CO₂ diffusion from stomata to the sites of carboxylation in leaves of woody species. *Plant, Cell & Environment*, 15, 873-899.
- [17] Lo Gullo M.A., P. Trifilò, F. Raimondo, 2000. Hydraulic architecture and water relations of *Spartium junceum* branches affected by a mycoplasma disease. *Plant, Cell & Environment*, 23, 1079-1088.
- [18] Menalled F.D., M. Kely, 2001. Crown structure and biomass allocation strategies of three juvenile tropical tree species. *Plant Ecology*, 152, 1-11.
- [19] Nevo E., M.A. Bolshakova, G.I. Martyn, L.I. Musatenko, K.M. Sytnik, T. Pavlíček, A. Beharav, 2000. Drought and light anatomical adaptive leaf strategies in three woody species caused by microclimatic selection at "Evolution Canyon", Israel. *Israel Journal of Plant Sciences.*, 48, 33-46.
- [20] Niinemets U., A. Cescatti, M. Rodeghiero, T. Tosens, 2005. Complex adjustments of photosynthetic potentials and internal diffusion conductance to current and previous light availabilities and leaf age in Mediterranean evergreen species *Quercus ilex*. *Plant, Cell & Environment*, 29, 1159-1178.
- [21] Ogaya R., J. Peñuelas, 2003. Comparative seasonal gas exchange and chlorophyll fluorescence of two dominant woody species in a Holm Oak forest. *Flora*, 198, 132-141.
- [22] Parkhurst D.F., 1994. Diffusion of CO₂ and other gases inside leaves. *New Phytologist*, 126, 449-479.
- [23] Pereira J.S., M.M. Chaves, 1995. Plant responses to drought under climate change in Mediterranean-type ecosystems. In: *Global change and Mediterranean - type ecosystems* (J.M. Moreno, W.C. Oechel, ed.), Springer-Verlag, New York - Berlin - Heidelberg, 140-160.

- [24] Pesoli P., L. Gratani, W. Larcher, 2003. Response of *Quercus ilex* from different provenances to experimentally imposed water stress. *Biologia Plantarum*, 46, 577-581.
- [25] Sánchez-Gómez D., T. Velasco-Conde, F.J. Cano-Martíña, M.A. Guevara, T. Cervera, I. Aranda, 2011. Inter-clonal variation in functional traits in response to drought for a genetically homogeneous Mediterranean conifer. *Environmental and Experimental Botany*, 70, 104-109.
- [26] Wright I.J., K. Cannon, 2001. Relationships between leaf lifespan and structural defences in a low nutrient, sclerophyll flora. *Functional Ecology*, 15, 351-359.
- [27] Wright I.J., M. Westoby, 2002. Leaves at low versus high rainfall: coordination of structure, lifespan and physiology. *New Phytologist*, 155, 403-416.
- [28] Wright I.J., P.B. Reich, M. Westoby, 2001. Strategy-shifts in leaf physiology, structure and nutrient content between species of high and low rainfall, and high and low nutrient habitats. *Functional Ecology*, 15, 423-434.

NALDO ANSELMI¹ – EMMA MOTTA² – ANNA MARIA VETTRAINO¹
BRUNO PAPARATTI³ – MARCO NASINI¹ – FULVIO RAVAIOLI¹
MATTEO DELLA VALLE¹ – MIRCO FAVORO¹

Stato sanitario delle formazioni boschive della Tenuta Presidenziale di Castelporziano: un decennio di ricerche

Abstract – *Health status of woodland formations of the Castelporziano Estate: a decade of researches.* During the periods 2003-2005 and 2010-2012, several surveys were conducted in the Presidential Estate “Castelporziano” to evaluate the healthy status of the forest, with particular attention to the genera *Pinus* and *Quercus* spp. The phytosanitary status of the area has been assessed on the base of the presence of pathogens, symptoms of decline, structure of the Endophytic communities, presence of clear-cut and dead plants spots, tree seedlings survival and the ethiology of the reduction of pine nuts production.

In the last five years, a drought period, shorter than in the previous years, has maintained both the Mediterranean and *Q. ilex* forests in a healthy status, and it has improved the vigor of cork oak forests, which previously had shown signs of declining.

The decline of deciduous oaks, *Quercus cerris* and *Q. robur* in particular, has been increasing. Especially old plants showed symptoms caused by *Biscogniauxia mediterranea* and rot pathogens and suddenly collapsed and died. Moreover, *P. cinnamomi*, a well known pathogen of oak decline, has been isolated in the ponds present in the forest. The seedling decline has been caused by wild animals more than fungal pathogen infections.

Although, the native species *H. annosum*, a new-introduction from the USA, *H. irregolare*, and their hybrids have been recorded in the pine forest, their presence seems not to be very harmful.

The increased death of single trees could be related to lightning damages or, more probably, to attacks by bark beetles, *Tomicus destruens* especially. The reduced production in

¹ Dipartimento per l’Innovazione nei Sistemi Biologici, Agroalimentari e Forestali (DIBAF), Università della Tuscia, Viterbo, via San Camillo De Lellis snc, 01100 Viterbo.

² Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (CRA), Centro di Ricerca per la Patologia Vegetale, via Carlo Giuseppe Bertero, 22, 00156 Roma.

³ Dipartimento di Scienze e Tecnologie per l’Agricoltura, le Foreste, la Natura e l’Energia (DAFNE), Università della Tuscia, via San Camillo De Lellis snc, 01100 Viterbo.

pine nuts, not caused by the presence of the endophyte *Sphaeropsis sapinea*, could be due to the recent spread of the new introduced American bug *Leptoglossus occidentalis*, which leads the “abortion” in young cones.

In order to prevent or control the above-mentioned phytosanitary problems, measures of sustainable integrated pest and pathogens management were suggested.

Key words: *Pinus*, *Quercus*, forest decline, pests and pathogens management, Presidential Estate “Castelporziano”.

Sommario – Allo scopo di avere un quadro sullo stato sanitario delle formazioni boschive della Tenuta Presidenziale di Castelporziano e sulla relativa evoluzione nel tempo, nei trienni 2003-2005 e 2010-2012 sono state condotte ripetute serie di monitoraggi fitopatologici sulle varie specie forestali ivi presenti, con particolare attenzione ai generi *Pinus* e *Quercus*.

All'uopo, in apposite aree di saggio permanenti individuate nei vari boschi, si è proceduto a rilievi sui diversi attacchi parassitari e fenomeni di deperimento delle piante, con analisi integrative sulla carica endofitica di patogeni corticali nelle piante sane, sull'incidenza di chiarie per morte o eliminazione sanitaria delle piante, sulla sopravvivenza dei semenzali e sulla eziologia della recente diminuzione produttiva in pinoli da parte dei pini.

L'ultimo quinquennio, assai meno siccitoso rispetto agli anni precedenti, ha permesso di conservare un buono stato sanitario delle piante sia nella macchia mediterranea che nelle leccete, e di migliorare quello delle sugherete, che precedentemente avevano mostrato qualche segno di deperimento. È invece peggiorato lo stato sanitario nelle querce caducifoglie, *Quercus cerris* e *Q. robur* in particolare, soprattutto a carico delle piante stramature, colpite da gravi deperimenti, con attacchi di *Biscogniauxia mediterranea*, di marciumi radicali e di carie, con schianti e crolli. Nel terreno limitrofo alle piscine è stata riscontrata la presenza di *Phytophthora cinnamomi*, la cui azione patogena verso le querce è stata dimostrata da più parti. Ogni moria dei semenzali è apparsa da imputare a danni da animali selvatici, mentre è da escludere una significativa incidenza di specifici patogeni fungini.

Sulle pinete, quantunque sia stata registrata la presenza di *Heterobasidion*, sia della specie autoctona *H. annosum*, che di quella di neo-introduzione dagli USA, *H. irregolare*, o loro ibridi, la loro dannosità non è apparsa al momento rilevante. Le accresciute morie di singole piante sono apparse connesse a danni da fulmini o, soprattutto, ad attacchi di scolitidi, soprattutto *Tomicus destruens*.

La riduzione della produzione in pinoli, non condizionata dalla carica endofitica nei germogli di *Sphaeropsis sapinea*, risulterebbe imputabile alla recente diffusione della cimice americana *Leptoglossus occidentalis*, di neo-introduzione, che indurrebbe l'“aborto” dei semi nelle giovani pigne.

Al fine di prevenire o contrastare le suddette criticità fitosanitarie, sono stati suggeriti opportuni interventi ed accorgimenti di lotta integrata sostenibile.

Parole chiave: *Pinus*, *Quercus*, parassiti, deperimenti, lotta sostenibile, Tenuta Presidenziale di Castelporziano.

1. Premessa

Allo scopo di preservare le formazioni boschive della Tenuta Presidenziale di Castelporziano, negli anni 2003-2005 furono condotte una serie di osservazioni finalizzate a fornire un quadro sullo stato sanitario dei vari boschi e sui parassiti più pericolosi verso le diverse specie forestali presenti [15].

Quantunque la situazione dei vari boschi non abbia denunciato complessivamente condizioni allarmanti, emersero tuttavia alcuni problemi che in proiezione futura potevano divenire rilevanti, se non tenuti sotto controllo.

Due furono le criticità più gravi che emersero: i fenomeni di deperimento nei boschi di querce; la presenza del patogeno radicale *Heterobasidion spp.*

I deperimenti sulle querce, con manifesti attacchi di *Biscogniauxia mediterranea*, noto patogeno corticale da debolezza, lievi sulle leccete, risultarono consistenti nelle sugherete, principalmente a carico di piante dominate od in forte competizione e pertanto predisposte a stress, e soprattutto sulle querce caducifoglie, in particolare cerro e farnia. Su queste ultime specie i fenomeni interessarono soprattutto piante con età avanzata, di grande mole, che spesso risultavano invase da carie devastanti. Tuttavia furono registrati seccumi, defogliazioni e morie anche in piante giovani, in particolare su cerro, generalmente concentrati in zone circoscritte od in aree limitrofe alle piscine. Per la lettura del fenomeno, risultò interessante l'analisi dell'incidenza endofitica di patogeni fungini corticali in piante asintomatiche. Presoché tutte le piante, apparentemente sane, monitorate presentarono nei tessuti numerosi endofiti fungini, molti dei quali con carattere patogeno, tra cui numerosi agenti di necrosi corticali notoriamente implicati nei fenomeni di deperimento (*Biscogniauxia*, *Diplodia*, *Discula*, *Macrophoma*, *Phoma*, *Phomopsis*, ecc.). L'incidenza endofitica di tali patogeni risultò più elevata nelle parcelle dove erano in atto deperimenti.

Quanto alle pinete, fu messa in evidenza un'elevata incidenza di chiarie (Tab. 2), che almeno in parte sembrarono collegate ad attacchi di *Heterobasidion spp.*, agente di marciume radicale, che oltre alla specie indigena *H. annosum*, risultò presente anche la specie nordamericana *Heterobasidion irregolare*, invasiva e con capacità di ibridarsi in natura con gli isolati autoctoni, neo-introdotta, probabilmente attraverso legname nel periodo bellico [9; 10; 11]. Dette specie, nella piovosa annata 2002, soprattutto in una delle più grandi chiarie, quella di Cerasolo, risultarono produrre una grande quantità di corpi fruttiferi (basidiomi) su ceppaie morte. Da allora, la diffusione delle loro basidiospore è stata riscontrata anche in numerose altre pinete del litorale laziale, in più casi collegata anche con mortalità delle piante [3; 8; 12]. Negli ultimi anni, in alcune pinete di Castelporziano è sembrata significativamente aumentare l'incidenza di piante morte.

Oltre alle problematiche imputate alle infezioni da *Heterobasidion*, per *Pinus pinea* della Tenuta è stata ultimamente evidenziata anche una forte riduzione nella produzione di pinoli, produzione che ha sempre rappresentato una notevole risorsa economica. A fronte di detta riduzione non si registra peraltro significativa presenza di "pigne pagliose", notoriamente quasi prive di semi.

Tab. 1. Principali cause di seccumi e di morie delle piante nei vari boschi della Tenuta di Castelporziano e relativa incidenza nel 2004 e nel 2012.

Bosco	Cause predisponenti	Malattia	Agente patogeno	Incremento 2004-2012	
				Seccumi	Morie
PINETE	Stress idrico	Marciumi radicali Mal del rotondo	<i>Armillaria</i> spp. <i>Heterobasidion</i> spp	-	-
	-	Seccumi alla chioma Danni da fulmini	<i>Tomicus destruens</i> -	- +	++ +
LECCETE	Stress idrico	Marciumi radicali + cancri corticali	<i>Armillaria</i> spp. + <i>Biscogniauxia</i> <i>mediterranea</i> , <i>Diplopia</i> , <i>Phomopsis</i> , ecc.	-	-
SUGHERETA	Stress idrico	Marciumi radicali + cancri corticali	<i>Armillaria</i> spp. + <i>B. mediterranea</i> , <i>Diplopia</i> , <i>Phomopsis</i> , ecc.	+	-
QUERCETE CADUCIFOGLIE	Stress idrico + senescenza	Marciumi radicali + cancri corticali + carie	<i>Armillaria</i> spp. + <i>B. mediterranea</i> , <i>Diplopia</i> , <i>Phomopsis</i> , ecc. + funghi cariogeni	++	++++
	Bagno-asciuga delle piscine	Mal del pedale	<i>Phytophthora</i> <i>cinnamomi</i>	?	+

(- assai modesta; + modesta; ++ consistente; +++ rilevante; ++++ assai rilevante)

Tab. 2. Incidenza dei deperimenti e delle chiarie nei vari boschi della Tenuta di Castelporziano nel 2005 e nel 2010.

BOSCO	Deperimenti			Chiarie		
	Numero parcelle	Indice di deperimento (%)		Numero aree	Superficie totale (metri quadrati)	
		2005	2010		2005	2010
PINETE MONUMENTALI	4	0,15	0,37	30	82.885	83.045
LECCETE	3	0,55	0,49	21	45.204	45.444
SUGHERETE	3	0,83	0,78	25	128.786	130.991
QUERCETE CADUCIFOGLIE	4	0,37	1,56	2005 = 70 2010 = 85	155.774	188.664 203.448

2. Scopi delle indagini

Alla luce di quanto evidenziato in premessa, allo scopo di verificare lo stato sanitario attuale delle formazioni boschive della Tenuta Presidenziale di Castelporziano e la relativa evoluzione nell'ultimo decennio, si sono utilizzate le medesime parcelle permanenti individuate nel 2003-2005 negli anni 2010-2012 sono stati ripetuti i monitoraggi, conducendo rilievi sugli eventuali attacchi parassitari e sui fenomeni di deperimento delle piante. È stata anche presa in esame, con studi integrativi, la carica endofitica di patogeni corticali in piante sane, l'incidenza delle chiarie per morte o eliminazione sanitaria degli alberi, analizzata attraverso aerofotografia, sulla sopravvivenza dei semenzali di rinnovamento e sull'eziologia della recente diminuzione produttiva in pinoli da parte dei pini. Sulla base dei risultati ottenuti si è cercato di individuare opportuni interventi volti a prevenire l'avvento o rallentare gli effetti delle più gravi criticità sanitarie riscontrate.

3. Metodologia seguita nelle indagini

Le indagini sono state rivolte ai diversi impianti di *Pinus* ed ai boschi adulti delle varie specie di *Quercus*, con qualche osservazione speditiva su altri importanti generi forestali, compresi quelli tipici della macchia mediterranea. Per ogni specie forestale si è cercato di quantificare le alterazioni patologiche sulle piante, con particolare riferimento ai noti "fenomeni di deperimento" da attacchi di parassiti da debolezza, innescati da stress prolungati. Per quelle manifestazioni di origine incerta, si è proceduto ad analisi di laboratorio su materiale malato, anche ricorrendo a tecniche di biologia molecolare.

Oltre alla quantificazione di fenomeni patologici, uno studio particolare è stato rivolto alle chiarie, delle quali si è cercato di valutare la variazione in estensione, ponendo a confronto foto aeree o immagini satellitari riscontrate nel 2005 con quelle rilevate nel 2010.

3.1. Stato sanitario delle querce

I nuovi monitoraggi hanno considerato i siti individuati con i rilievi precedenti, rappresentativi delle varie specie di *Quercus*, e precisamente: quattro aree per i querceti di caducifoglie (*Q. pubescens* e soprattutto *Q. suber* e *Q. cerris*), tre aree per le leccete e tre per le sugherete. Per ogni punto-area, identificato con GPS, sono state prese in considerazione le venti-trenta piante a suo tempo numerate in senso orario. Su ciascuna di queste è stata rilevata l'incidenza di eventuali seccumi alla chioma, di cancri rameali o del fusto, in particolare quelli carboniosi da *H. mediterraneum*, nonché di attacchi di eventuali agenti di marciumi radicali e di insetti xilofagi. I rilievi sono stati effettuati utilizzando le apposite scale di valutazione messe a punto nel precedente monitoraggio, così come con medesimo procedimento sono stati calcolati gli "indici di deperimento" dei vari boschi, che vanno

a sintetizzare in un unico valore compreso da 1 a 4 la presenza media visivamente rilevabile di seccumi alla chioma e necrosi sugli organi legnosi [17].

Un procedimento particolare è stato seguito per rilevare l'eventuale presenza di *Phytophthora* spp. nel suolo, nelle aree con moria di querce caducifoglie vicine ad alcune piscine. All'uopo sono stati effettuati prelievi di terreno e, in laboratorio, si è proceduto all'analisi sull'eventuale presenza del patogeno ricorrendo alla tecnica baiting e dei dischi fogliari esca, con successivi isolamenti ed eventuali analisi (osservazioni sulle colture, induzione delle fruttificazioni, analisi RAPD) per l'identificazione specifica [21].

Analisi sull'incidenza endofitica di patogeni corticali di debolezza. Per ogni area di saggio sono state prescelte 4 piante rappresentative, apparentemente sane, procedendo poi all'isolamento degli endofiti fungini in rametti di tre anni. La procedura per detti isolamenti (dimensioni e prelievo dei campioni, sterilizzazione, substrati di coltura, reisolamenti) ha seguito il protocollo da tempo collaudato [2]. L'incidenza endofitica di ciascuna specie fungina è stata espressa quale "frequenza di isolamento", intesa come percentuale di micro-frammenti di tessuto utilizzati che hanno dato origine a colonie [2].

Sopravvivenza del novellame. Al fine di verificare le cause delle ricorrenti morie a carico del novellame, in un'area opportunamente recintata con robusta rete metallica ed in una lasciata tal quale, è stato seguito, nel tempo, lo sviluppo dei giovani semenzali. In apposite parcelle del bosco ampie 10 m², situate in aperte chiarie od in zone ombreggiate dalle piante, sono stati seguiti la nascita, l'accrescimento e la sopravvivenza dei giovani semenzali. Sulle piantine andate incontro ad avvizzimento, si è cercato di verificare la presenza di patogeni radicali che potevano averne causato la morte. A tal fine, da zone diverse dell'apparato radicale, sono stati raccolti frammenti di tessuto alterato, da cui si è proceduto ad effettuare isolamenti in vitro, cercando poi di individuare ed identificare eventuali fitopatogeni rinvenuti.

3.2. Stato sanitario dei pini

Tali indagini hanno interessato le diverse tipologie di pinete, in particolare quelle monumentali, valutando ogni aspetto patologico, cercando di identificarne l'eziologia. È stato valutato l'allargamento delle chiarie nel quinquennio, si è cercato di verificare la presenza di basidiomi di *Heterobasidion* sulle ceppaie ancora in sito. Per le piante deperienti o recentemente morte, si è cercato di stabilire l'eziologia del fenomeno, esaminando attentamente, l'eventuale presenza di danni da fulmini, di attacchi di scolitidi, di marciumi radicali e, ancora, di basidiomi di *Heterobasidion*.

Eziologia della ridotta produzione di Pinoli. Le indagini sono state sviluppate partendo dalle seguenti due ipotesi: 1) rilevante presenza endofitica nei germogli del patogeno *Sphaeropsis sapinea*, del quale è nota l'induzione di pigne pagliose ste-

ri, (per cui poteva essere lecito ipotizzare un'azione negativa diretta sulle fruttificazioni, anche in assenza di suddette malformazioni); 2) neo-introduzione della cimice americana *Leptoglossus occidentalis* (Heteroptera, Coreidae), che, ove presente, ha dimostrato una forte inibizione nelle fruttificazioni del pino [4; 5; 6; 7; 13; 20; 22]. Per verificare la prima ipotesi, nel 2011 sono stati posti a confronto gli isolati fungini ricavati da germogli di *Pinus pinea*, raccolti da piante adulte, carenti in produzione di pinoli da qualche anno, con quelli ricavati da germogli di piante, coetanee site in Montefiascone, e tuttora molto produttive. Per verificare la seconda ipotesi, sono state condotte ripetute osservazioni sulla presenza di *Leptoglossus* nella Tenuta, tentandone anche catture quantitative.

4. Risultati

L'attuale stato sanitario delle formazioni boschive della Tenuta di Castelporzio e la relativa evoluzione nell'ultimo decennio sono risultati molto diversificati in relazione alle varie specie forestali ed alla diversa tipologia di bosco. In nessun caso sono stati riscontrati criticità a carico degli arbusti della macchia mediterranea (corbezzolo, fillirea, lentisco, ecc.). Anzi, è stata ricorrentemente riscontrata una forte propensione di queste formazioni ad inserirsi nelle chiarie degli altri boschi, spesso con una vera e propria trasformazione dell'aspetto del soprassuolo.

In nessuna delle specie forestali sono emersi attacchi significativi alla chioma da parte di parassiti a carattere primario, eccezion fatta per l'olmo, del quale la grafiosi da *Ophiostoma ulmi* sta portando a morte buona parte delle piante adulte, anche secolari e di notevole valore paesaggistico. Come in tutto il nostro Paese, anche nella Tenuta le popolazioni di *Ulmus* sono ormai sempre più rappresentate da formazioni cespugliose giovani, destinate nel tempo ad essere esse stesse distrutte dal patogeno e ricostituite da cespugli più giovani via via che le loro dimensioni divengono rilevanti.

Meno benevola e particolarmente articolata è risultata la presenza di malattie radicali, di seccumi e di parassiti corticali da debolezza, e dei conseguenti deperimenti e morie delle piante, a carico delle querce, sempreverdi e caducifoglie, e dei pini, generi forestali che caratterizzano i boschi più estesi e significativi della Tenuta.

4.1. Stato sanitario delle querce sempreverdi

Lo stato sanitario dei boschi di querce sempreverdi di leccio e di sughera è risultato soddisfacente. Le leccete hanno continuato a mantenersi in buono stato fisiologico, senza significativi deperimenti ed attacchi parassitari da debolezza (Tab. 1 e 2). Anche nelle sugherete i fenomeni di deperimento, che nel 2005 risultavano di una certa evidenza, sono globalmente regrediti (Tab. 1 e 2). È verosimile che la maggiore piovosità degli ultimi anni, riducendo gli stress idrici, abbia indotto un miglioramento della vigoria delle piante. Uno stato stazionario o addirittura miglio-

Tab. 3. Castelporziano. Frequenza di isolamento (%) degli endofiti fungini, patogeni e non, riscontrati su piante sane di specie diverse di *Quercus* in rametti di tre anni nel luglio 2004 e 2012.

			<i>Q. ilex</i>		<i>Q. suber</i>		<i>Q. Cerris</i>	
			2004	2012	2004	2012	2004	2012
PATOGENI	Agenti necrosi corticali	<i>Biscogniauxia mediterranea</i>	8,44	6,23	8,33	7,77	12,00	16,55
		<i>Cylindrocarpon</i>	1,39	1,27	3,33	2,56	3,33	4,56
		<i>Diplodia mutila</i>	2,22	1,98	16,67	13,10	3,33	5,58
		<i>Phoma cava</i>	3,89	2,12	7,89	6,6	5,00	3,73
		<i>Phomopsis quercina</i>	36,39	24,16	17,5	14,5	40,00	42,32
		Somma	52,33	45,66	45,83		63,66	73,24
	Altri	<i>Discula quercina</i>	26,67	20,42	43,33	18,66	22,50	16,07
		Somma	79,00	66,08	89,16		86,16	89,31
NON PATOGENI		<i>Aureobasidium pullulans</i>	2,22	3,50	0	2,10	1,28	0,88
		<i>Cladosporium spp</i>	4,44	5,41	4,17	5,33	3,55	2,65
		<i>Rhizopus sp</i>	1,11	2,20	0	0,44	2,22	2,00
		<i>Tritirachium</i>	0,56	–	1,67	–	–	–
		Altro	12,22	14,0	13,23	12,99	10,67	8,04
		Somma	20,56	25,41	19,07	20,76	17,72	13,47
Nessun isolamento			6,94	18,24	12,68	13,66	2,20	5,00

rato delle leccete e di gran parte delle sugherete sembrerebbe “sostenuto” anche dalla ridotta dei vari patogeni corticali (Tab. 3). Pur se buona parte delle piante apparentemente sane abbia continuato ad ospitare asintomaticamente nei tessuti numerosi agenti fungini di necrosi corticali (*Discula quercina*, *Biscogniauxia mediterranea*, *Diplodia*, *Phomopsis*, *Phoma cava*, ecc.), la carica globale e di ogni singolo patogeno è in genere diminuita (Tab. 3). Per contro, quantunque in misura incostante e spesso assai modesta, la carica degli endofiti a carattere non parassitario (*Aureobasidium pullulans*, *Cladosporium spp.*, *Rhizopus sp*, ecc.) è apparsa talora aumentata.

Nelle sugherete merita, tuttavia, rilevare come mentre in buona parte delle piante i fenomeni di deperimento siano regrediti, diversi soggetti che risultarono molto sofferenti nel 2004 abbiano finito per morire, in genere ricoperte da fruttificazioni carboniose di *B. mediterranea*.

È verosimile che la morte di queste piante sia da ricondurre alla forte carica di endofiti patogeni che allora li contraddistingueva. È probabile che all'avvento delle

migliorate condizioni climatiche dette piante fossero già ospiti di una rilevante percentuale di endofiti virati alla fase patogenetica, che procedendo con plurime colonizzazioni, le hanno inesorabilmente portato a morte.

In ogni caso, le chiarie rilevate a carico delle sugherete e delle leccete nel 2005 sono rimaste del tutto invariate nel quinquennio successivo (Tab. 2).

4.2. *Stato sanitario delle querce caducifoglie*

Al contrario delle leccete e delle sugherete, le querce caducifoglie, in particolare *Q. cerris* e *Q. suber*, hanno intensificato i fenomeni di deperimento (Fig. 1; Tab. 1), con relativo indice medio passato da 0,37 ad 1,56 (Tab. 2) e con morte e schianti di numerosi soggetti. In qualche caso il declino delle piante è apparso assai rapido, con la morte degli individui in pochi giorni (colpo apoplettico). Le morie hanno interessato con maggiore frequenza le piante senescenti (e quindi scarsamente reattive) e di grande mole. Anche in questo caso è probabile che all'avvento delle migliorate condizioni climatiche dette piante fossero già ospiti di parassiti da debolezza, predisposti dagli stress idrici degli anni '90, con miriadi di colonizzazioni patogeniche già innescate ad opera di endofiti corticali (*B. mediterranea*, *Diplodia*, *Phomopsis*, ecc.), la cui incidenza nel 2012 è peraltro risultata accresciuta rispetto al 2004 (Tab. 3), sia di agenti di marciumi radicali (*Armillaria*, ecc.) e di carie, che, le hanno inesorabilmente portate a morte. Molte di queste querce di grandi dimensioni e stramature hanno finito per crollare a terra, lasciando ampi vuoti nel bosco.



Fig. 1. Castelporziano, 29 luglio 2007. Parcella di querce caducifoglie con vari stadi di deperimento delle piante (41°42'56.00"NS; 12°22'39.09"EO).

L'aggravamento di tale fenomeno è dimostrato infatti anche dalle chiarie nei boschi, che dal 2005 al 2010 hanno subito un notevole incremento sia in numero che in estensione (Tab. 2). Le nostre osservazioni in bosco ci hanno peraltro permesso di verificare quanto documentato da altri lavori: il rapido inserimento nelle chiarie di varie specie arbustive della macchia mediterranea. Ciò è indubbiamente favorito dalla grande difficoltà dei boschi a rinnovarsi, soprattutto a causa dei nefasti danni al novellame da parte della selvaggina, intensamente presente nella Tenuta. Meritano infine menzione le morie, generalmente a macchia d'olio, che hanno interessato le piante, delle più varie età e dimensioni, situate nelle aree limitrofe allo specchio d'acqua di alcune piscine.

Ipotesi Phytophthora. Nostre recenti e mirate indagini hanno dimostrato come nel terreno limitrofo a dette piscine risultino presenti generi di *Phytophthora*, in particolare *P. cinnamomi*.

È indubbio che le suddette morie possono trovare giustificazione nell'abbassamento estivo delle acque, sempre rilevante negli ultimi anni. Soprattutto su piante che, proprio per l'abbondanza di acqua garantita in passato dalle piscine (quando le acque non si abbassavano così tanto), presentano radici piuttosto superficiali, detti abbassamenti inducono indubbiamente intensi stress idrici, con nefasti attacchi di parassiti da debolezza. Ciò nondimeno la presenza di *P. cinnamomi* induce a considerare questo patogeno un importante agente o corresponsabile di dette morie. D'altra parte la sua patogenicità verso il genere *Quercus* è stata documentata sia in Italia, in particolare su *Q. ilex* e *Q. suber* [21], che soprattutto all'estero, Spagna in particolare [19].

Moria dei semenzali. Mentre nei boschi non recintati buona parte dei semenzali è andata praticamente perduta, in quelli recintati la percentuale dei semenzali che si è regolarmente sviluppata è apparsa molto elevata. Anche nell'estate 2012, contraddistinta da una prolungata siccità, la percentuale di piantine sopravvissuta è risultata in settembre oltre il 60%. Sulle radici dei semenzali deperienti non sono stati riscontrati patogeni primari. Le eventuali tipologie fungine identificate sono da annoverare nella loro totalità ad specie saprotrofe, del tutto ininfluenti sulle necrosi delle radici. La morte delle piantine verificatasi nell'Agosto 2012 sembrerebbe pertanto da doversi imputare ad avvizzimenti per stress irreversibile da carenza idrica.

4.3. Stato sanitario dei pini

Relativamente all'incidenza ed alla pericolosità di *Heterobasidion*, sia della specie autoctona *H. annosum* che di quella americana neo-introdotta *H. irregolare*, i risultati dei nostri rilievi hanno offerto evidenze contrastanti. Da un lato è stata notata una certa ripresa della formazione di basidiomi su ceppaie, probabilmente a causa di andamenti climatici favorevoli, nonché l'insorgenza di qualche nuovo, sia pur raro, piccolo focolaio di attacco. È stata altresì verificata una continua diffu-



Fig. 2. Pineta di Castelporziano, 2010. Piccola chiarra lasciata dalla morte di una pianta (dx) che nel 2005 appariva deperiente (sx). Da notare l'inserimento di arbusti nella chiarra, tipici della macchia mediterranea.

sione delle basidiospore delle due specie (o di loro ibridi) in aree limitrofe a Castelporziano e dintorni, perfino nei mesi invernali più miti [3; Motta, com. pers.]. Dall'altro lato però, un pino con parte di radici morte dove nel 2004 furono riscontrati basidiomi continua tuttora a vivere e, parimenti, una ceppaia di erica, su cui a suo tempo furono raccolti diversi carpofori del patogeno, non risulta né devitalizzata né totalmente cariata, ma, anzi, ha debolmente prodotto nuova vegetazione. Inoltre, nessuna delle trenta chiarie rilevate nel 2005 nelle pinete monumentali è risultata nel 2010 aver subito espansione significativa (Tab. 2), compresa quella molto grande della sopra menzionata località Cerasolo, dove la gran massa di basidiomi ivi riscontrati denunciava una notevole pressione infettiva. In realtà, nell'ultimo quinquennio, nella Tenuta di Castelporziano, le piante adulte di pino che in maniera del tutto puntiforme sono andate incontro a morte (Fig. 2) sono state assai numerose, ma in nessun caso si è riusciti a dimostrare una implicazione di *Heterobasidion* nel fenomeno. Gran parte di esse è risultata danneggiata da fulmini o, più spesso, colpita da scolitidi, generalmente *Tomicus destruens*. Merita sottolineare come alcune delle chiarie di vecchia formazione vadano incontro ad un'invasione ad opera di arbusti tipici della macchia mediterranea (Fig. 2).

Riduzione della produzione in pinoli. L'analisi degli endofiti nei germogli prelevati su piante di *Pinus pinea* site in Castelporziano ed in Montefiascone, caratterizzate negli ultimi anni da carente ed abbondante produzione di pinoli rispettivamente, ha dimostrato come l'incidenza di *Sphaeropsis sapinea* od altri fungilli nelle due stazioni sia praticamente analoga (Tab. 4). Sembrerebbe pertanto che gli insetti endofitici di tale patogeno non abbiano significativa influenza sulla produzione di semi. Per contro, in Castelporziano, è stata negli ultimi anni riscontrata una rilevante presenza di *Leptoglossus occidentalis*, cimice americana (Fig. 3sx) che risulterebbe danneggiare le giovani pigne, con conseguente diminuzione della produzione di pinoli. Gli adulti e le neanidi di *L. occidentalis*, infatti, si alimentano pungendo, mediante lo stiletto dell'apparato boccale, gli aghi, gli organi fiorali, le pigne e i relativi semi, sia allo stato ancora erbaceo che in diverso stadio di sviluppo, provocando danni letali alle giovani infruttescenze (Fig. 3dx), con conseguente "aborto" dei semi e mancanza in produzione di pinoli, fino all'80% [4; 13].

Tab. 4. Luglio 2010. Frequenza di isolamento (%) di endofiti fungini riscontrati su germogli e rametti di un anno di piante di *Pinus pinea* localizzate in Castelporziano ed in Montefiascone di Viterbo.

Endofiti fungini isolati	Castel Porziano		Montefiascone	
	Germogli	Rametti di 1 anno	Germogli 1 anno	Rametti di
Patogeni: <i>Sphaeropsis sapinea</i>	15,5	5,2	16,5	6,60
Non patogeni: <i>Cladosporium, Aureobasidium, ecc.</i>	9,35	7,29	9, 13	7,94



Fig. 3. Adulto di *Leptoglossus occidentalis* (sx) e pignette di un anno infestate da adulti e neanidi (dx).

5. Considerazioni conclusive

Le nostre indagini, mettendo a confronto rilievi fitopatologici condotti nel triennio 2010-2012 con quelli effettuati nel 2003-2005, hanno permesso di avere un interessante quadro sull'attuale stato sanitario dei boschi della Tenuta e sulla relativa recente evoluzione. Accanto a numerose formazioni forestali che hanno conservato buone condizioni, come la macchia mediterranea, le leccete e buona parte delle sugherete, ne sono state messe in evidenza altre, caratterizzate da problemi sanitari più o meno rilevanti, quali soprattutto i boschi di querce caducifoglie, nonché svariate pinete.

Numerose piante di *Quercus cerris* e *Q. robur*, soprattutto quelle di più grandi dimensioni e/o senescenti, sono risultate colpite da inquietanti deperimenti, con attacchi di cancri corticali, marciumi radicali e carie, con schianti e crolli a terra, che hanno creato ampie chiarie ed in più casi hanno indotto una preoccupante intromissione della macchia mediterranea. L'elevata incidenza di *B. mediterranea* e di altri patogeni corticali da debolezza nelle piante apparentemente sane sta ad indicare una rilevante carica dei loro insediamenti endofitici che, in particolare su soggetti con scarsa reattività quali quelli più annosi, sotto l'innescio degli stress idrici che caratterizzarono gli anni a cavallo del 2000, hanno probabilmente virato verso irreversibili colonizzazioni patogeniche. Ciò, unitamente a paralleli attacchi di marciumi radicali e di carie, giustifica i collassi degli esemplari stramaturi e di grande mole ed il loro frequente schianto a terra.

È tuttavia verosimile che negli intensi deperimenti e morie di piante in zone limitrofe ad alcune piscine, di varia età e dimensione, abbia avuto un ruolo attivo anche *Phytophthora* spp., recentemente riscontrata nel terreno.

Quanto alle morie dei pini, quantunque sia dimostrata la presenza di *Heterobasidion annosum* ed *H. irregolare* e la continua diffusione delle loro basidiospore, non sono state notati allargamenti delle chiarie, né si è riusciti a dimostrare un loro determinante ruolo nelle frequenti morie di piante riscontrate in questi ultimi anni. Dette ricorrenti morie sono invece risultate associate a colpi di fulmini o, soprattutto, ad attacchi *Tomicus destruens*. Ciò non deve tuttavia indurci a negare la possibilità di una azione parassitaria da parte dei suddetti *Heterobasidion* ed a mettere in atto le dovute attenzioni.

La riduzione della produzione di pinoli non sembrerebbe collegata alla carica di endofiti patogeni nei germogli, bensì alla diffusione della cimice americana *Leptoglossus occidentalis*, che risulterebbe rendere improduttive le giovani pigne.

In conclusione, esistono reali criticità di alcune formazioni boschive della Tenuta, che bisogna in qualche modo contrastare, così come occorre preservare quei boschi che quantunque oggi si trovino in buone condizioni, a seguito di eventuali nuovi prolungati periodi di siccità legati al Global Change, potrebbero in futuro andare incontro a forti stress ed a conseguenti nefasti processi di deperimenti.

Per evitare tutto ciò o per ridurre comunque i danni, riteniamo opportuno offrire qualche suggerimento orientativo.

– Se si vogliono mantenere i boschi di cerro e di farnia così come li abbiamo conosciuti finora, urge mettere in atto strategie (es. opportune recinzioni) volte a favorire il rinnovamento, soprattutto evitando i danni da selvaggina. Solo così si potranno evitare irreversibili intromissioni della macchia mediterranea, che porterebbero a grandi sconvolgimenti fitocenotici, fino addirittura alla scomparsa delle querce.

– Poiché buona parte dei deperimenti sembrerebbe connessa a stress da carenza idrica, essendo questa esaltata dalla competizione tra le piante, un intervento di diradamento di quei boschi troppo densi potrebbe in più casi risultare utile per minimizzare il fenomeno o ridurne gli effetti.

– I tagli fitosanitari, con l'eliminazione delle piante morte o molto deperienti, spesso ricche di fruttificazioni di patogeni di debolezza e pertanto potenziali fonti di inoculo, quando non vadano a turbare altri equilibri (es. presenza di uccelli, ecc.), potrebbero risultare assai utili per ridurre la carica degli endofiti patogeni e dei parassiti in genere, riducendo i rischi futuri.

– Qualora venisse confermata una nefasta presenza di *Phytophthora* nelle vicinanze delle piscine, è ipotizzabile un trattamento endoterapico di contenimento con prodotti a base di fosfiti su un'opportuna fascia di piante intorno alle medesime (piscine).

– Nelle pinete, a prescindere dalla reale pericolosità di *Heterobasidion*, sarebbe in ogni caso auspicabile che, in occasione di abbattimenti o diradamenti dei boschi, si possa procedere ad interventi di lotta biologica contro le infezioni da basidiospore con trattamenti ai tagli freschi delle ceppaie a mezzo sospensione di *Phlebiopsis gigantea*, di origine autoctona [1]. In alternativa, una difesa assai più semplice potrebbe essere perseguita irrorando le ceppaie appena dopo l'abbattimento con una soluzione di urea al 20%. Trattandosi di un concime e considerata la minima quantità da distribuire, detto intervento non comporterebbe alcun negativo impatto ecologico.

– Contro *Heterobasidion*, onde diminuire la pressione di basidiospore, potrebbero risultare utili anche la “distruzione” dei basidiomi, nonché un rapido esbosco di qualsivoglia legname di pino, sul quale si potrebbero formare corpi fruttiferi, talora così piccoli da passare inosservati. Utile infine, per quanto possibile, la riduzione delle occasioni di ferite alla base delle piante, che rappresentano una facile via di infezione da parte delle medesime basidiospore.

– Nei riguardi della cimice americana *Leptoglossus occidentalis*, si spera nell'introduzione di parassitoidi naturali dai Paesi di origine, che almeno in laboratorio offrono risultati incoraggianti [14; 16; 17; 18].

– Infine, onde evitare che le suddette criticità possano acuirsi o che ne possano arrivare delle altre, riteniamo di grande importanza per il futuro la prosecuzione di periodici, mirati, monitoraggi e verifiche.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Annesi T., Curcio G., D'Amico L., E. Motta, 2005. Biological control of *Heterobasidion annosum* on *Pinus pinea* by *Phlebiopsis gigantea*. *Forest Pathology*, 35, 127-134.
- [2] Anselmi N., Capretti P., Cellerino G.P., Franceschini A., Granata G., Luisi N., Marras F., Mazzaglia A., Mutto Accordi S., Ragazzi A., A. Vannini, 2002. Studi sull'endofitismo di patogeni fungini di debolezza implicati nel deperimento delle querce in Italia. Atti del Convegno "L'endofitismo di funghi e batteri patogeni in piante arboree e arbustive". A. Franceschini e F. Marras (Ed.), Sassari-Tempio Pausania, 19-21 maggio: 43-59.
- [3] Anselmi N., A.M. Vettrai, 2012. Indagini su diffusione, aspetti biologici ed epidemiologici della specie esotica di *Heterobasidion* su pino in Italia. Relazione finale progetto PRIN 2008, MIUR, 13 pp.
- [4] Benassai D., Feducci M., Innocenti M., Capretti P., Tiberi R., 2008. Danni alla fruttificazione del pino domestico: indagine sulle cause e sulle perdite di produzione in Toscana. *Linea Ecologica* 2 (4-6): 59-65.
- [5] Bernardinelli, I., Zandigiaco, P., 2001, *Leptoglossus occidentalis* Heidemann (*Heteroptera, Coreidae*): a conifer seed bug recently found in northern Italy. *J. For. Sci.* 47, 56-58.
- [6] OEPP/EPPO, 2010: Reporting service – pests & diseases. *Leptoglossus occidentalis*: an invasive alien species spreading in Europe. N. 1, 9.
- [7] Bernardinelli I. & Zandigiaco P. (2002). First record of conifer seed bug (*Leptoglossus occidentalis*) in Friuli Venezia Giulia. *Notiziario ERSA* 15(5), 44-46.
- [8] D'Amico L., Motta E., Annesi T., Scirè M., Luchi N., Hantula J., Korhonen K., P. Capretti, 2007. The North American P group of *Heterobasidion annosum* s.l. is widely distributed in *Pinus pinea* forests of the western coast of central Italy. *Forest Pathology*, 37, 303-320.
- [9] Gonthier P., Warner R., Nicolotti G., Mazzaglia A., M. Garbelotto, 2004. Pathogen introduction as a collateral effect of military activity. *Mycological Research*, 108, 468-470.
- [10] Gonthier P., Nicolotti G., Linzer R., Guglielmo F., M. Garbelotto, 2007. Invasion of European pine stands by a North American forest pathogen and its hybridization with a native interfertile taxon. *Molecular Ecology*, 16, 1389-1400.
- [11] Gonthier P., M. Garbelotto, 2011. Amplified fragment length polymorphism and sequence analyses reveal massive gene introgression from the European fungal pathogen *Heterobasidion annosum* into its introduced congener *H. irregulare*. *Molecular Ecology*, 20, 2756-2770.
- [12] Gonthier P., Lione G., Giordano L., M. Garbelotto, 2012. The American forest pathogen *Heterobasidion irregulare* colonizes unexpected habitats after its introduction in Italy. *Ecological Applications*, 22 (8) 2135-2143.
- [13] Maltese M., Caleca V., A. Carapezza, 2009. Primi reperti in Sicilia su diffusione e biologia di *Leptoglossus occidentalis* Heidemann (*Heteroptera: Coreidae*), cimice americana dei semi delle conifere, pp. 1413-1418, In Atti del Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura. Taormina (ME), 16-19 ottobre 2008. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze.
- [14] Maltese M., Caleca V., Guerrieri E., Strong W.B., 2012. Parasitoids of *Leptoglossus occidentalis* Heidemann (*Heteroptera: Coreidae*) recovered in western North America and first record of its egg parasitoid *Gryon pennsylvanicum* (Ashmead) (*Hymenoptera: Platygasteridae*) in California. *The Pan-Pacific Entomologist*, 88 (3): 347-355.
- [15] Ravaioi F., Anselmi N., Mazzaglia A., Nasini M., Rocco E., M. Gori, 2006. Indagini fitosanitarie nelle formazioni forestali della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. In "Il sistema ambientale della Tenuta di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero e mediterraneo", II serie, Accademia Nazionale delle Scienze detta dei Quaranta. Scritti e documenti XXXVII, 675-700.

- [16] Roversi P.F., L. Santini, E. Rossi & A. Loni. 2011a. Ooparassitoidi di *Leptoglossus occidentalis* in Toscana. In: Atti del XXIII Congresso Nazionale Italiano di Entomologia. Erredi Publishing, Genova, Italy, 139 pp.
- [17] Roversi, P.F., W.B. Strong, V. Caleca, M. Maltese, G. Sabbatini Peverieri, L. Marianelli, L. Marziali & A. Strangi. 2011b. Introduction into Italy of *Gryon pennsylvanicum* (Ashmead), an egg parasitoid of the alien invasive bug *Leptoglossus occidentalis* Heidemann. EPPO Bulletin 41: 72-75.
- [18] Sabbatini Peverieri, G., P. Furlan, S. Simoni, W.B. Strong & P.F. Roversi. 2012. Laboratory mevaluation of *Gryon pennsylvanicum* (Ashmead) (Hymenoptera, Platygasteridae) as a biological control agent of *Leptoglossus occidentalis* Heidemann (Heteroptera, Coreidae). Biological Control 61: 104-111.
- [19] Saánchez M.E., Caetano P., Ferraz J., A. Trapero, 2002. *Phytophthora* disease of *Quercus ilex* in south-western Spain, Forest Pathology, 32, 5-18.
- [20] Santini, L. 2009. La cimice americana delle conifere (*Leptoglossus occidentalis* Heidemann) (Heteroptera: Coreidae) e fruttificazione del pino domestico. I Georgofili, Quaderni 2009, IV, Sezione Centro Ovest, Pisa, pp. 15-36.
- [21] Scanu B., Linaldeddu B., Franceschini A., Anselmi N., Vannini A., A. Vettraino, 2013. "Occurrence of *Phytophthora cinnamomi* in cork oak forests in Italy", Forest Pathology (in press).
- [22] Villa M., Tescari G., Taylor S.J., 2001 – Nuovi dati sulla presenza in Italia di *Leptoglossus occidentalis* (Heteroptera: Coreidae). Bollettino della Società Entom. Italiana, 133(2): 101-112.

INDICE DEGLI AUTORI*

- ANSELMI NALDO, I, 213
AROMOLO RITA, I, 3
BARATELLA VALENTINA, I, 69
BAZZANTI MARCELLO, II, 329
BENEDETTI ANNA, I, 69
BLASI CARLO, II, 383
BONITO ANNA, I, 203
CAPITONI BRUNO, II, 435, 463, 479
CATONI ROSANGELA, I, 203
CATTANEO AUGUSTO, II, 269
CHIANCONE EMILIA, I, IX
CRESCENTE MARIA FIORE, I, 203
CROSTI ROBERTO, I, 27
D'ANGELI DIEGO, I, 27, 135
DANIELI PIER PAOLO, II, 363
DE GIACOMO UMBERTO, II, 253
DE NICOLA CRISTINA, I, 27, 135
DELLA VALLE MATTEO, I, 213
EBERLE ALESSANDRO, II, 435
FANELLI GIULIANO, I, 27, 135
FANFANI ALBERTO, II, 243, 351
FARES SILVANO, I, 13
FAVARO MIRKO, I, 213
FREPOLI ALBERTO, I, 111
FUSARO LINA, I, 177
GIORDANO ERVEDO, I, XIII, II, 435, 463,
479
GRATANI LORETTA, I, 203
GUERRIERI GASPARE, II, 253
GUIDOTTI SILVIA, I, 151
ILARDI FILIPPO, I, 3
ISOTTI ROBERTO, II, 243
LORETO FRANCESCO, I, 13
LUISELLI LUCA, II, 243
MAFFEI LUCA, II, 399, 435, 463, 479
MALTZEFF PAOLO, II, 287, 525
MANES FAUSTO, I, 177
MARCHITELLI CINZIA, II, 363
MARRA FABRIZIO, I, 111
MASTRORILLO LUCIA, I, 89
MATTEUCCI GIORGIO, I, 13
MEREU SIMONE, I, 177
MORANI ARIANNA, I, 13
MORETTI VALERIO, I, 3, 13
MOTTA EMMA, I, 213
MUSICANTI ALESSANDRO, II, 435, 463
NARDONE ALESSANDRO, II, 363
NASINI MARCO, I, 213
PAOLANTI MASSIMO, II, 383
PAOLETTI ELENA, I, 13
PAPARATTI BRUNO, I, 213
PETITTA MARCO, I, 89
PIGNATTI SANDRO, I, 27, 135, 151
PRIMI VALENTINA, II, 363
RAVAIOLI FULVIO, I, 213
RECANATESI FABIO, II, 399, 417, 435, 463
REZZAGLIA MARCO, I, 69
RIVIECCIO ROSA, II, 383
RIVOCCHI LEO, II, 287
RONCHI BRUNO, II, 363
SALVATORI ELISABETTA, I, 177
SCARASCIA MUGNOZZA GIUSEPPE, I, 13

* Il numero romano rinvia al tomo.

SEMINARA MARCO, II, 313
SOLIDA LUIGI, II, 351
SORGI TIZIANO, I, 13
SPANO DONATELLA, I, 177
TESTI ANNA, I, 27, 135, 151
TINELLI ALEANDRO, II, 243, 253, 463,
479

TOLLI MICHELA, II, 417
TRINCHERA ALESSANDRA, I, 69
VAGAGGINI DARIA, II, 313
VARONE LAURA, I, 203
VETTRAINO ANNA MARIA, I, 213
ZANELLA AUGUSTO, I, 27
ZAVATTERO LAURA, II, 383

INDICE

EMILIA CHIANCONE – <i>Prefazione</i>	IX
ERVEDO GIORDANO – <i>Prologo e Compendio</i>	XIII

CIRCOLAZIONE ATMOSFERICA E CARATTERISTICHE CLIMATICHE

RITA AROMOLO - VALERIO MORETTI - FILIPPO ILARDI, <i>Caratterizzazione dei metalli pesanti nelle deposizioni atmosferiche nella Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Nota I</i>	3
SILVANO FARES - GIORGIO MATTEUCCI - ELENA PAOLETTI - FRANCESCO LORETO - ARIANNA MORANI - VALERIO MORETTI - TIZIANO SORGI - FILIPPO ILARDI - GIUSEPPE SCARASCIA MUGNOZZA, <i>I siti sperimentali all'interno della Tenuta Presidenziale di Castelporziano: opportunità per testare le capacità di rimuovere carbonio e ozono dall'atmosfera da parte delle foreste mediterranee periurbane</i>	13

GEOMORFOLOGIA, PEDOLOGIA E RISORSE IDRICHE

CRISTINA DE NICOLA - ANNA TESTI - ROBERTO CROSTI - AUGUSTO ZANELLA - DIEGO D'ANGELI - GIULIANO FANELLI - SANDRO PIGNATTI, <i>Humus e vegetazione come indicatori della qualità dell'Habitat nella Tenuta di Castelporziano</i>	27
ALESSANDRA TRINCHERA - VALENTINA BARATELLA - MARCO RENZAGLIA - ANNA BENEDETTI, <i>Caratterizzazione delle sostanze umiche in profili di suoli forestali della Tenuta di Castelporziano</i>	69
LUCIA MASTRORILLO - MARCO PETITTA, <i>Il monitoraggio idrogeologico della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (Roma)</i>	89
ALBERTO FREPOLI - FABRIZIO MARRA, <i>Analisi della sismicità e del campo di sforzo crostale del Lazio centrale: periodo 1997-2008</i>	111

ECOFISIOLOGIA VEGETALE

DIEGO D'ANGELI - GIULIANO FANELLI - CRISTINA DE NICOLA - ANNA TESTI - SANDRO PIGNATTI, <i>Censimento floristico su griglia quadrettata nella Tenuta Presidenziale di Castelporziano – Risultati preliminari</i>	135
ANNA TESTI - SILVIA GUIDOTTI - SANDRO PIGNATTI, <i>Ricerche ecologiche e microclimatiche in relazione al cambio climatico nella Tenuta di Castelporziano</i>	151
LINA FUSARO - SIMONE MEREU - ELISABETTA SALVATORI - DONATELLA SPANO - FAUSTO MANES, <i>Variazioni stagionali del Q_{10} e della respirazione basale in ecosistemi costieri: i modelli di respirazione sono utilizzabili per la vegetazione sempreverde mediterranea?</i>	177
LORETTA GRATANI – ROSANGELA CATONI – MARIA FIORE CRESCENTE - ANNA BONITO - LAURA VARONE, <i>Soglia di tolleranza ai fattori di stress di specie sempreverdi mediterranee</i>	203
NALDO ANSELMI - EMMA MOTTA - ANNA MARIA VETTRAINO - BRUNO PAPANATTI - MARCO NASINI - FULVIO RAVAIOLI - MATTEO DELLA VALLE - MIRKO FAVARO, <i>Stato sanitario delle formazioni boschive della Tenuta Presidenziale di Castelporziano: un decennio di ricerche</i>	213
Indice degli Autori	229