

BIODIVERSITÀ DELLE PRINCIPALI COLTURE MEDITERRANEE: UNA RISORSA PER L'ADATTAMENTO DELL'AGRICOLTURA AL CLIMA CHE CAMBIA

BIODIVERSITY OF MOST IMPORTANT MEDITERRANEAN CROPS: A RESOURCE FOR THE ADAPTATION OF AGRICULTURE TO A CHANGING CLIMATE

M. Menenti, F. De Lorenzi, A. Bonfante, V. Cavallaro, A. Lavini, A. Raccuia,
R. d'Andria, A. Leone, R. De Mascellis.

Istituto per i Sistemi Agricoli e Forestali del Mediterraneo (ISAFOM) – Consiglio Nazionale delle Ricerche, Ercolano (NA)

Sommario

Il consolidamento delle previsioni sull'evoluzione del clima ed il crescente consenso riguardo all'entità dei cambiamenti previsti tendono a spostare l'attenzione dalla comprensione e previsione dei cambiamenti a scala globale allo studio di opzioni concrete per l'adattamento al clima che cambia. Di particolare rilevanza e complessità è l'adattamento dell'agricoltura, dato il numero e la diversità degli attori coinvolti nell'evoluzione e nell'adattamento, processi che richiedono ingenti investimenti e che generano i benefici attesi su tempi molto lunghi. Negli ultimi anni abbondano nella letteratura sia scientifica che divulgativa valutazioni dell'impatto delle variazioni climatiche sulle produzioni agrarie. Elemento comune alla maggioranza di tali studi è l'attenzione per gli scenari climatici analizzati, valutando l'impatto su una coltura o su un sistema di produzione attualmente presente nel territorio studiato.

Lo studio descritto in questo articolo ha seguito una strada diversa: l'analisi della variabilità climatica è stata realizzata in modo del tutto indipendente dalla identificazione e valutazione di opzioni concrete di adattamento. Lo scenario climatico di riferimento per il periodo 2000 – 2050 è stato costruito sulla base di statistiche determinate di 15 anni di osservazioni in una località della Campania. Questo scenario a scala regionale è stato tradotto nel regime idro-termico di due suoli e siti specifici con l'ausilio di un modello numerico di simulazione del flusso di acqua e calore in un suolo insaturo (CropSyst). Gli andamenti del contenuto d'acqua e della temperatura del suolo medi giornalieri per lo strato 0 - 0.5 m sono stati successivamente utilizzati per identificare le varietà idonee alle condizioni osservate per tre colture dominanti nelle zone collinari Italiane: vite, olivo e frumento. Lo studio mette in evidenza come la notevole diversità intervarietale di risposta all'andamento climatico permette in tutti i casi considerati di identificare una o più varietà per le quali le condizioni previste sono ottimali. Il metodo proposto dimostra la rilevanza della biodiversità nelle specie di interesse agrario per l'adattamento dell'agricoltura al clima in evoluzione. Inoltre le opzioni di adattamento identificate sono sufficientemente precise da permettere l'analisi della sostenibilità di tali scelte produttive.

Parole chiave: regime idro-termico dei suoli, modelli numerici, requisiti pedo-climatici delle cultivars, indici quantitativi

Summary

Growing awareness of climate evolution and the increasing agreement on the magnitude of the expected changes are shifting the attention from the understanding and forecast of global changes to the study of practical options of adaptation to the changing climate. The adaptation of agriculture is particularly relevant and complex, given the number and the variety of actors involved in the transformation and adaptation, with both processes requiring heavy investments and moreover with the drawback of producing the expected advantages on a very long time scale. In the last few years both scientific and popular literature have reported a lot of studies dealing with the impact of climate changes on agricultural production. A common element to the majority of these studies is the attention to climate scenarios and to their impact on current crops or production systems in the area of study.

The analysis described in the present paper proceeded along a different way: the variability of climate has been analyzed independently in a first stage, and only in a second stage the practical possibilities of adaptation have been identified and evaluated. A reference climate scenario has been constructed for the period 2000-2050, based on the statistical properties of 15-years of observations in an area of the Campania Region (Southern Italy). The regional scenario has been translated into the hydro-thermal regime of two soils in two specific sites by means of a numerical simulation model of water and heat flux in an unsaturated soil (CropSyst). The annual courses of daily soil water content and temperature (averaged over the 0-0.5 m soil layer) have been used to identify on the basis of climate requirements the cultivars suitable to the simulated conditions, for the three most important crops of Italian hilly areas – grapevine, olive and wheat. The study shows that the considerable diversity in the responses of varieties to climate allows to identify in all the case-studies that have been considered, one or more varieties that can optimally produce in the forecasted conditions. The proposed methodology demonstrates the relevance of biodiversity within the species of agricultural interest for the adaptation of agriculture to the evolving climate. Moreover, the adaptation options thus identified are precise enough to assess the sustainability of such options.

Keywords: soil hydro-thermal regime, numerical models, pedo-climatic requirements of cultivars, quantitative indicators

Introduzione

Il clima mediterraneo è caratterizzato da estati secche e calde e da inverni freddi ed umidi (Turner, 2004a). Questo clima è comune alle coste occidentali di tutti i continenti tra le latitudini 30° e 45°, a causa della circolazione globale nell'atmosfera (Joffre *et al.*, 2002). Il verificarsi di stress abiotici in combinazione e presenza della variabilità climatica limitano la produzione agricola per fini alimentari nella Regione Mediterranea, in gran parte arida e semi-arida. Previsioni recenti indicano che intorno al 2050 le precipitazioni invernali (ottobre – marzo) aumenteranno nella Spagna centrale ed orientale e nell'Italia settentrionale, mentre le precipitazioni diminuiranno del 10 – 15% nei Paesi meridionali della Regione Mediterranea, mentre la temperatura media invernale aumenterà di 1.2 – 2.5 °C in tutta la Regione (Ragab *et al.*, 2002). La Regione Mediterranea, particolarmente il vicino Oriente e l'Africa settentrionale, è una delle regioni più secche della Terra, raccoglie solo 1% delle risorse idriche rinnovabili ed è caratterizzata da un clima estremamente variabile (Ceccarelli *et al.*, 1991).

Studi recenti hanno dimostrato che le piante rispondono in modo univoco ad una combinazione di due stress abiotici e che non è possibile predire la risposta a stress multipli dalla conoscenza delle risposte ai singoli stress. D'altra parte ci sono indicazioni di determinanti comuni della risposta a stress diversi, come per esempio il caso della risposta della germinazione alle basse temperature, alla salinità e alla siccità, risposta che sarebbe determinata dagli stessi geni (Foolad *et al.*, 2003).

La siccità e la salinità sono due limitanti importanti delle produzioni agrarie nella Regione (Amiri *et al.* 1998, Gregory 2006). Le piante rispondono e si adattano allo stress al livello della pianta intera, delle radici e di altri organi, fino al livello cellulare e molecolare. L'azione dell'ABA (acido abscissico), per esempio, contribuisce a determinare la risposta a condizioni di stress abiotici, come disseccamento e salinizzazione del suolo o basse temperature (Cutler, 2005). Durante l'adattamento alla siccità si attivano processi metabolici e fisiologici che possono accrescere la resistenza alla deidratazione, come incrementi negli zuccheri solubili ed alcune proteine (Aspinall *et al.*, 1981; Ibarra-Caballero *et al.*, 1988; Arakawa *et al.*, 1990; Lane, 1991; Andersen *et al.* 2002). Evidentemente, il legame tra processi biochimici e tratti genetici determina importanti differenze tra le varietà nella risposta in termini di qualità e quantità della produzione.

Date le limitate risorse idriche nella Regione Mediterranea, il fabbisogno alimentare non può essere soddisfatto incrementando ulteriormente il consumo idrico del settore agrario (Qadir *et al.*, 2007) ed è necessario incrementare la produttività per volume d'acqua utilizzato, piuttosto che per superficie coltivata (Oweis *et al.*, 2006). La pratica agronomica è un importante determinante di miglioramenti nella produttività e nell'efficienza dell'uso delle precipitazioni (Turner, 2004b).

Le strategie di adattamento delle colture ad un ambiente che cambia richiedono significative variazioni nello svi-

luppo fenologico, principalmente nell'epoca di fioritura (Passioura, 2007). Le modalità di adattamento più comuni per le colture invernali in zone Mediterranee con scarse precipitazioni sono l'anticipazione della fioritura e della formazione del seme rispetto all'inizio del periodo di siccità prolungata, come osservato da Fereres *et al.* (1998) per il cece in Spagna e da Cooper *et al.* (1987) per il cece in Siria. Tuttavia, l'anticipazione della fioritura espone maggiormente le colture alle basse temperature, come osservato da Clarke *et al.* (2004a) per il cece e da Huang *et al.* (2005) per il grano e l'orzo. In letteratura si trovano indicazioni che nuove tecniche di miglioramento genetico permetterebbero di ridurre il rischio di danni da basse temperature (Clarke *et al.*, 2004b).

Per il grano, lo stress termico è stato identificato come uno dei fattori più significativi che influiscono su quantità e sulla qualità della produzione. Nella Regione Mediterranea si possono raggiungere temperature elevate anche nel periodo di riempimento del seme, con danni alle proprietà molitorie e panificatorie delle farine. Gli effetti negativi dello stress termico possono essere provocati sia da persistenti temperature al di sopra della media, sia da brevi periodi con temperature molto elevate (Skylas *et al.*, 2002).

Tutte le risposte a stress abiotici descritte brevemente sopra sono molto variabili tra cultivars di una stessa specie. D'altra parte i processi che determinano tali differenze non sono facilmente riconducibili a semplici descrizioni del tipo usato in modelli meccanicistici dell'accrescimento delle colture. In questo articolo si propone di usare direttamente la ricca conoscenza sulla variabilità dei caratteri genetici che determinano la risposta delle cultivars agli stress abiotici, usando modelli meccanicistici solo allo scopo di caratterizzare l'ambiente pedoclimatico in cui la coltura si sviluppa. In altre parole proponiamo di progredire verso l'adattamento al cambiamento climatico identificando le cultivars ottimali per le condizioni pedo-climatiche previste, in luogo di stimare gli impatti sulle colture attuali in un pedo-ambiente assegnato.

2. Metodi

2.1 Dagli scenari climatici a grande scala all'ambiente pedoclimatico per unità di paesaggio.

La risoluzione spaziale degli scenari climatici generati con modelli numerici è bassa ed insufficiente per la valutazione delle alternative colturali per unità di paesaggio. L'uso di modelli climatici a risoluzione spaziale più elevata è una soluzione solo apparente, vista l'impossibilità di determinare con l'accuratezza ed affidabilità necessarie il clima previsto in un orizzonte temporale da 30 a 50 anni ad alta risoluzione spaziale.

Il primo passaggio di scala, dallo scenario climatico al paesaggio ed alle singole unità di paesaggio è realizzato costruendo un'applicazione GIS che rappresenti in modo esplicito (Fig. 1) la struttura del paesaggio, compresa la

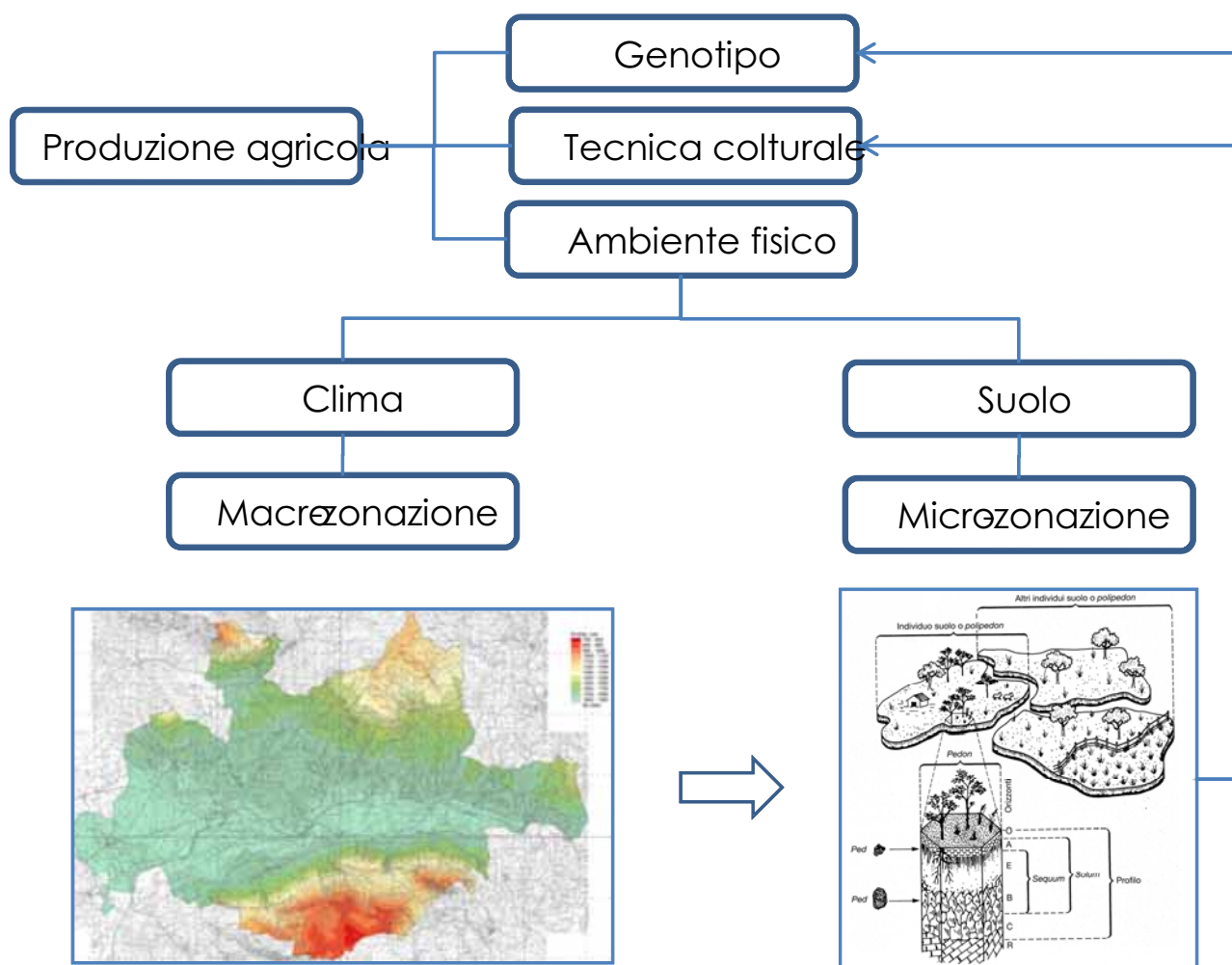


Fig. 1 - Descrizione schematica della metodologia seguita per legare il regime idro-termico delle singole unità di paesaggio all'andamento o scenario climatico a scala regionale.

distribuzione dei suoli e della copertura vegetale. L'andamento della temperatura, umidità e salinità nel suolo in risposta all'andamento climatico viene calcolato per ogni singola unità suolo-vegetazione usando un modello numerico di simulazione.

Il modello ha la struttura funzionale presentata schematicamente in Fig.2 ed integra numericamente le equazioni differenziali del secondo ordine che descrivono il trasporto di calore, acqua e soluti in un mezzo poroso insaturato. Le condizioni al contorno superiore del dominio di integrazione vengono definite in base alle condizioni meteorologiche, in particolare alla domanda evaporativa ed al flusso di calore scambiato dal sistema suolo-vegetazione con l'atmosfera (Kroes *et al.* 2003, Stöckle *et al.* 2003).

Il modello rappresenta in modo schematico (semplificato) i processi che determinano i flussi di energia ed acqua nel sistema suolo-vegetazione-atmosfera. La pianta ha un ruolo essenziale nel determinare tali flussi, quali la ripartizione dell'energia radiante e del flusso d'acqua in traspirazione ed evaporazione. L'architettura della copertura vegetale, del suo apparato radicale ed i meccanismi di

risposta ai fattori abiotici vengono rappresentate in un modello meccanicistico con relazioni semplificate (parameterizzazioni) derivate da esperimenti. Da una parte è sufficiente rappresentare, in questi modelli, le differenze principali tra tipi di vegetazione, dall'altra la base sperimentale non permette di caratterizzare, salvo in particolari casi, le differenze tra varietà di una stessa specie.

Da qui nasce l'ipotesi centrale del metodo proposto: per la caratterizzazione dell'ambiente pedoclimatico è sufficiente rappresentare il funzionamento della specie per mezzo di una varietà rappresentativa, utilizzando poi l'andamento della temperatura, contenuto d'acqua e di soluti nel suolo per valutare la risposta di varietà diverse sulla base dei requisiti pedo-climatici, noti per un ampio spettro di specie e varietà. Questa ipotesi porta a linearizzare l'analisi della risposta varietale alle condizioni climatiche, in quanto si assume che tale analisi possa essere effettuata in due passi successivi, nel primo dei quali non si considerano differenze varietali.

Passo 1. Partendo dai dati climatici e dalle caratteristiche topografiche, pedo-idrologiche e colturali degli agro-ambienti, possono essere descritte l'evoluzione tem-

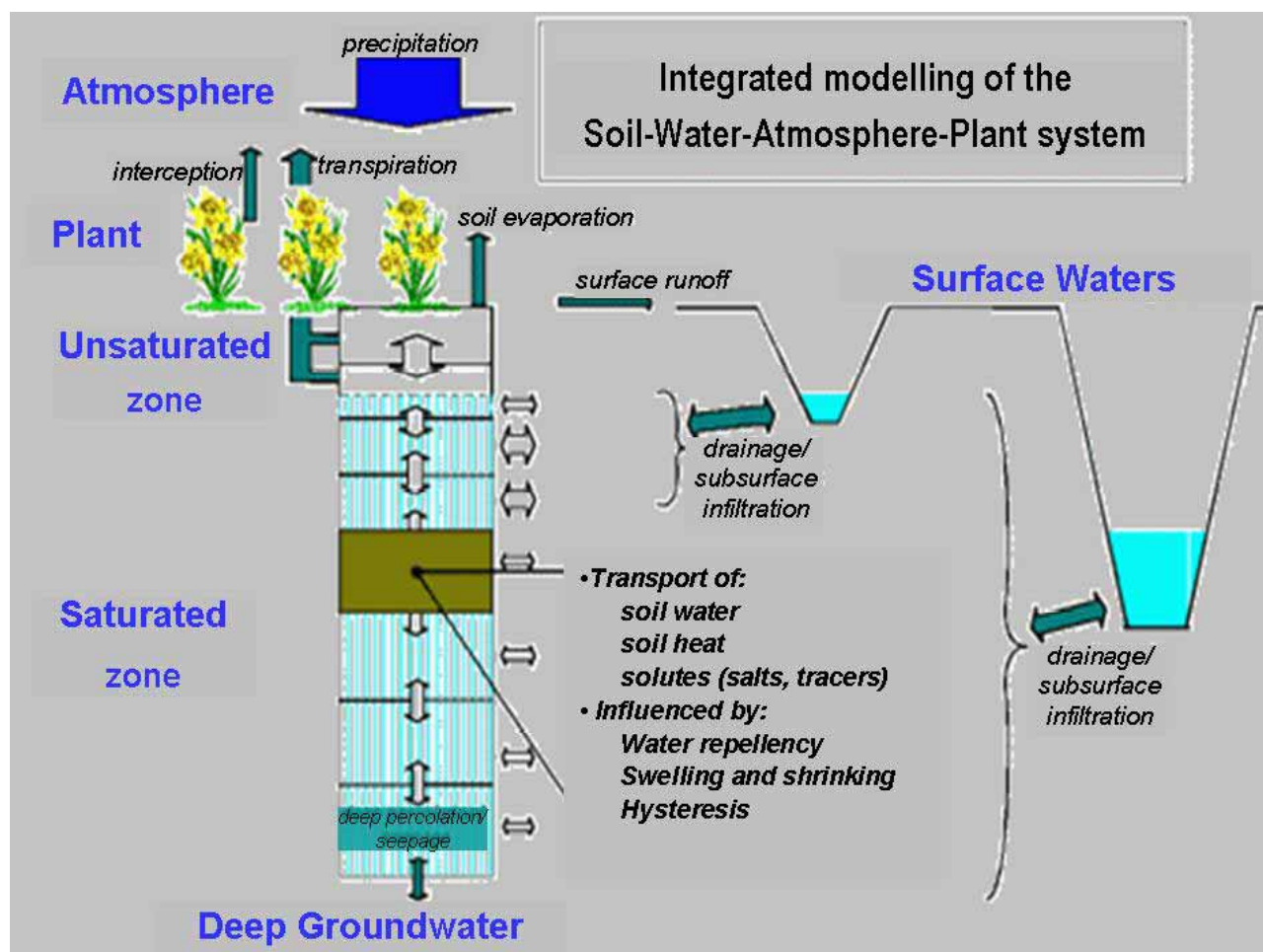


Fig. 2 - Schematizzazione del sistema suolo – pianta – atmosfera e dei processi idrologici ed idrometeorologici descritti dal modello numerico di simulazione usato in questo studio (da Kroes et al. 2003)

porale e spaziale delle condizioni idriche, termiche (e, se rilevanti, di concentrazione di soluti) nel suolo utilizzando modelli meccanicistici di simulazione del sistema suolo-vegetazione-atmosfera. Tali modelli generano serie temporali di temperatura, contenuto d'acqua e di soluti a diverse profondità e permettono di determinare le statistiche necessarie per l'analisi dei requisiti pedo-climatici per varietà. Le serie temporali vengono generate di norma con un passo temporale giornaliero e permettono quindi di calcolare con facilità gli indicatori corrispondenti ai requisiti pedoclimatici, come, ad esempio, le somme termiche.

Passo 2. Nota, per esempio, la soglia di deficit idrico tollerata da specie o varietà in un particolare stadio fenologico, si può facilmente determinare, dall'andamento del contenuto d'acqua in funzione della profondità e del tempo, il valore del deficit idrico nello strato di suolo interessato dall'apparato radicale e per il periodo di tempo corrispondente allo stadio fenologico considerato. Gli esempi presentati di seguito chiariranno quanto detto.

I valori assunti delle variabili nel tempo, in particolare il contenuto d'acqua e la temperatura del suolo, che descri-

vono il comportamento del sistema suolo-pianta-atmosfera in risposta alle variazioni del clima, sono stati stimati attraverso il modello di simulazione del moto dell'acqua e della crescita culturale CropSyst (Stöckle et al. 2003). Tale modello descrive il moto dell'acqua unidimensionalmente attraverso la soluzione numerica dell'equazione di Richard (Ross et al. 1990), applicando per la descrizione della curva di ritenzione e di conducibilità idraulica le funzioni proposte da Campbell (1985). La temperatura alla superficie del suolo è descritta in funzione della temperatura dell'aria e della biomassa alla superficie (Parton 1984). La temperatura nel profilo del suolo è simulata seguendo l'algoritmo adottato nel modello EPIC (Kenneth et al. 1994), che utilizza la media a lungo termine della temperatura annua dell'aria e un fattore legato alla profondità. Si assume che la temperatura del suolo rimanga quasi costante ad una certa profondità (che dipende dalla densità apparente e dal contenuto idrico del suolo) e che il valore di temperatura costante sia uguale alla temperatura dell'aria descritta sopra. La temperatura giornaliera del suolo varia esponenzialmente in funzione della profondità, fino allo strato a temperatura costante. In CropSyst l'evapotraspirazione di riferimento

viene determinata attraverso l'equazione di Priestley-Taylor (1972).

2.2 Analisi delle opzioni colturali in funzione delle condizioni pedoclimatiche.

Il secondo elemento del metodo proposto per identificare e valutare le opzioni colturali si basa sulla constatazione della relativa abbondanza di informazioni sui requisiti pedoclimatici di un ampio spettro di varietà delle colture più importanti e della scarsità di informazioni sui parametri necessari per caratterizzare la risposta varietale al clima con modelli meccanicistici. Di qui la proposta di separare questa analisi in due passi successivi: il primo (vedi 2.1) per la caratterizzazione delle condizioni pedoclimatiche ed il secondo, qui descritto, concentrato sulla raccolta ed analisi di informazioni sui requisiti pedoclimatici del più ampio spettro possibile di colture e varietà. Sulla base dei requisiti si arriva, successivamente, a determinare la risposta delle varietà ai livelli dei fattori pedoclimatici, in particolare alla temperatura, qualità e quantità delle risorse idriche.

Per la valutazione dell'evoluzione agro-tecnologica determinata dai cambiamenti climatici nell'Italia centro-meridionale, sono state identificate alcune colture tipiche (vite, olivo e frumento) ed i corrispondenti territori di maggiore diffusione e vocazionalità. L'approccio proposto permette di sfruttare efficientemente il patrimonio di conoscenze sulla biodiversità delle specie di interesse agrario, il cui potenziale per l'adattamento dell'agricoltura ai cambiamenti climatici è enorme e poco noto. In pratica la biodiversità si traduce in un ampio spettro di requisiti pedoclimatici per una singola specie, con il potenziale di individuare la varietà per la quale le condizioni pedoclimatiche di una specifica unità di paesaggio sono ottimali piuttosto che limitanti, come si potrebbe concludere sulla base di un'analisi riferita ad una sola varietà od in media alla specie.

2.3 Dati climatici e requisiti pedoclimatici.

I dati climatici per un periodo di 50 anni utilizzati in questo studio sono stati prodotti con un generatore climatico (ClimGen, Stöckle *et al.* 1998) sulla base dell'analisi di una serie storica di 15 anni (dal 1992 al 2006) di misure di temperatura (minima e massima), di precipitazioni e di radiazione globale della stazione agrometeorologica di Vitulazio (CE). La serie temporale di 50 anni viene generata usando le statistiche determinate con la serie osservata nel periodo 1992 - 2006 e può essere considerata esemplificativa della bassa pianura del Volturno (CE) e del Sele (SA). Sempre a titolo esemplificativo, lo studio è stato limitato a due suoli con caratteristiche diverse.

I dati relativi ai requisiti pedoclimatici per le colture (vite, olivo, frumento) sono stati reperiti in letteratura. L'analisi preliminare della letteratura riguardo ai requisiti pedoclimatici indica che difficilmente si arriva ad identificare requisiti quantitativi (= soglie e / o intervalli di indicatori climatici), mentre è più frequente l'uso di classi associate a definizioni qualitative. Molta letteratura non utilizza descrizioni quantitative precise del livello di stress - in termini di intensità e durata - in relazione alla produzione, soprattutto mancano le discriminazioni tra

varietà coltivate, come ad esempio nel quaderno FAO 33 (Doorenbos *et al.* 1979).

Requisiti pedoclimatici. In Doorenbos *et al.* (1979) vengono definiti 4 gruppi di colture in funzione della risposta al deficit idrico, misurato dalla frazione di riduzione 'p', la frazione della riserva idrica del suolo che può essere persa (nella zona interessata dagli apparati radicali) mantenendo l'ET effettiva (ETa) uguale all'ET potenziale (ETp). La frazione di riduzione, oltre che dalla coltura, dipende dal livello di ET potenziale. 'p' può variare da 0.2 a 0.5 (in corrispondenza di ETp di 9 e 2 mm giorno⁻¹, rispettivamente) per le colture più sensibili al deficit idrico (gruppo 1, in genere ortaggi e frutta); per il gruppo di colture più resistenti (gruppo 4) 'p' può variare tra 0.4 e 0.8.

Nel caso si consideri come limitante lo stress idrico, le simulazioni del bilancio idrico nel suolo in funzione delle (future) condizioni climatiche consentono di individuare le opzioni colturali possibili nelle aree prese a riferimento e dato il (pedo)-clima previsto, in funzione dei differenti valori di p. Per altre colture i requisiti pedoclimatici dominanti sono determinati dalla temperatura, come nel caso della vite (per esempio, Jones *et al.*, 2005 a,b) e del frumento (per esempio, Mathews *et al.*, 2007). Altro requisito pedoclimatico importante in zone aride e semi-aride è il regime idrosalino (Sayed, 1985).

3. Risultati

Si riportano come esempio le possibilità di risposta ai cambiamenti climatici offerte da alcune colture (e loro varietà, diffuse attualmente), in termini di risposta produttiva (quantitativa-qualitativa), di possibilità di permanenza della coltura (specie e varietà) nelle aree di diffusione attuale, di possibili cambiamenti della distribuzione geografica delle aree di crescita.

Ad esempio, uno studio regionale sui cambiamenti climatici effettuato in Spagna (Rodriguez *et al.* 2005) prevede, in funzione di differenti scenari di emissione, variazioni della temperatura per decade oscillanti tra 0.4 e 0.7 °C (con un riscaldamento estivo maggiore dell'invernale). Estrapolando, l'aumento di temperatura previsto per il 2050 è compreso tra 2 e 3.5 °C. Anche se consistente, un aumento di tale entità rientra ampiamente nell'intervallo di temperature all'interno del quale le condizioni sono ottimali per diverse varietà di vite ed olivo. Questo argomento è stato sviluppato generando uno scenario climatico per un periodo di 50 anni e considerando due siti di riferimento nella Regione Campania, ove esistevano informazioni sulle proprietà fisiche dei suoli sufficienti a caratterizzarne il regime idro-termico in funzione dell'andamento climatico.

3.1 Andamento climatico osservato e stimato e regime idro-termico del suolo.

La procedura descritta in precedenza è stata applicata per generare 50 anni di dati climatici sintetici, scegliendo poi due anni rappresentativi (2006 e 2005) con precipitazione annua, rispettivamente, significativamente inferiore e superiore alla media. La precipitazione osservata nel 2005 si colloca nel percentile 93% (solo il 7% degli anni

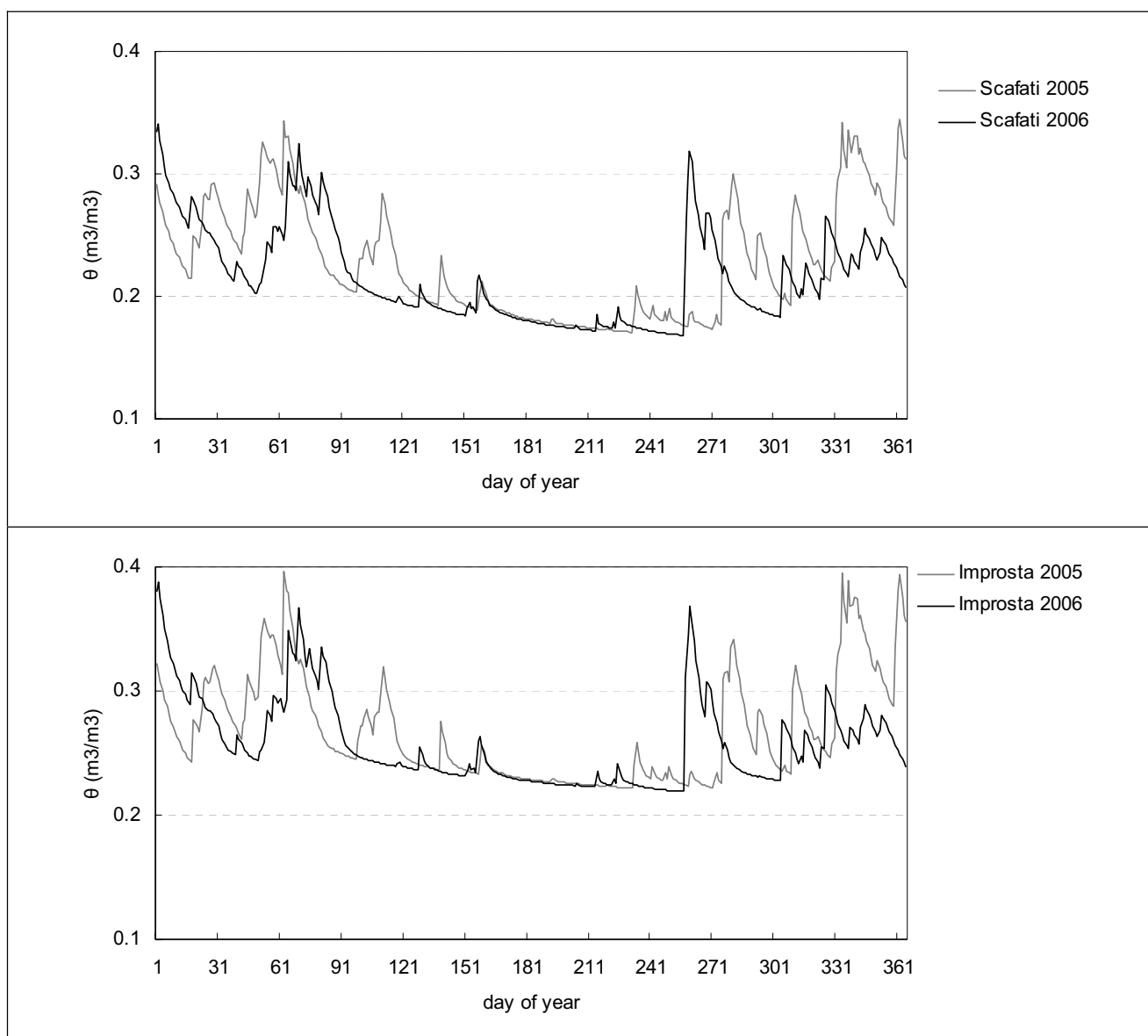


Fig. 3 -Andamento del contenuto d'acqua medio nello strato di suolo da 0 a 0.5 m di profondità per due pedo-ambienti campani in un anno secco (2006) ed uno umido (2005).

di osservazioni è risultato più piovoso), mentre la precipitazione 2006 nel percentile 13%. La differenza in precipitazione annua è comunque rilevante: 621 mm nel 2006 e 979.8 mm nel 2005, con temperature medie annue di 17.0 °C nel 2006 e 15.2 nel 2005.

Le simulazioni del regime idro-termico sono state effettuate in assenza di coltura, in due suoli con caratteristiche pedologiche diverse: un Andosuolo (Scafati, SA) ed un Inceptisuolo con caratteristiche vertiche (Azienda Improsta, Battipaglia, SA) in assenza di falda. Le proprietà fisiche dei suoli sono state determinate in laboratorio su campioni indisturbati utilizzando le procedure descritte da Tamari *et al* (1993), Dane *et al* (2002) e Reynolds *et al* (2002).

L'esperimento numerico fornisce indicazioni dirette riguardo all'impatto dell'andamento climatico sul regime isotermico, impatto valutato usando come indicatori i valori giornalieri della temperatura media del suolo ed il

contenuto medio di acqua nello strato dalla superficie fino a 0.5 m di profondità.

Per quanto riguarda il contenuto volumetrico d'acqua (θ , $m^3 m^{-3}$), le differenze tra i due suoli osservate nel periodo estivo (Fig. 3) sono significative, con i valori per il caso 'Improsta' più elevati di circa il 5%, e di maggiore entità nel periodo primaverile ed autunno-invernale. Le diverse caratteristiche dei due suoli determinano il livello medio del contenuto d'acqua, generalmente più elevato per Improsta. Le differenze tra il 2005 e 2006 sono evidentemente legate all'andamento delle precipitazioni e sono molto simili tra i due suoli. La differenza più significativa è il ritorno a valori elevati di umidità volumetrica nel mese di novembre dell'anno umido (2005), mentre persistono valori inferiori nell'anno secco (2006). Le differenze osservate sono comunque ridotte rispetto alla notevole differenza della precipitazione tra i due anni.

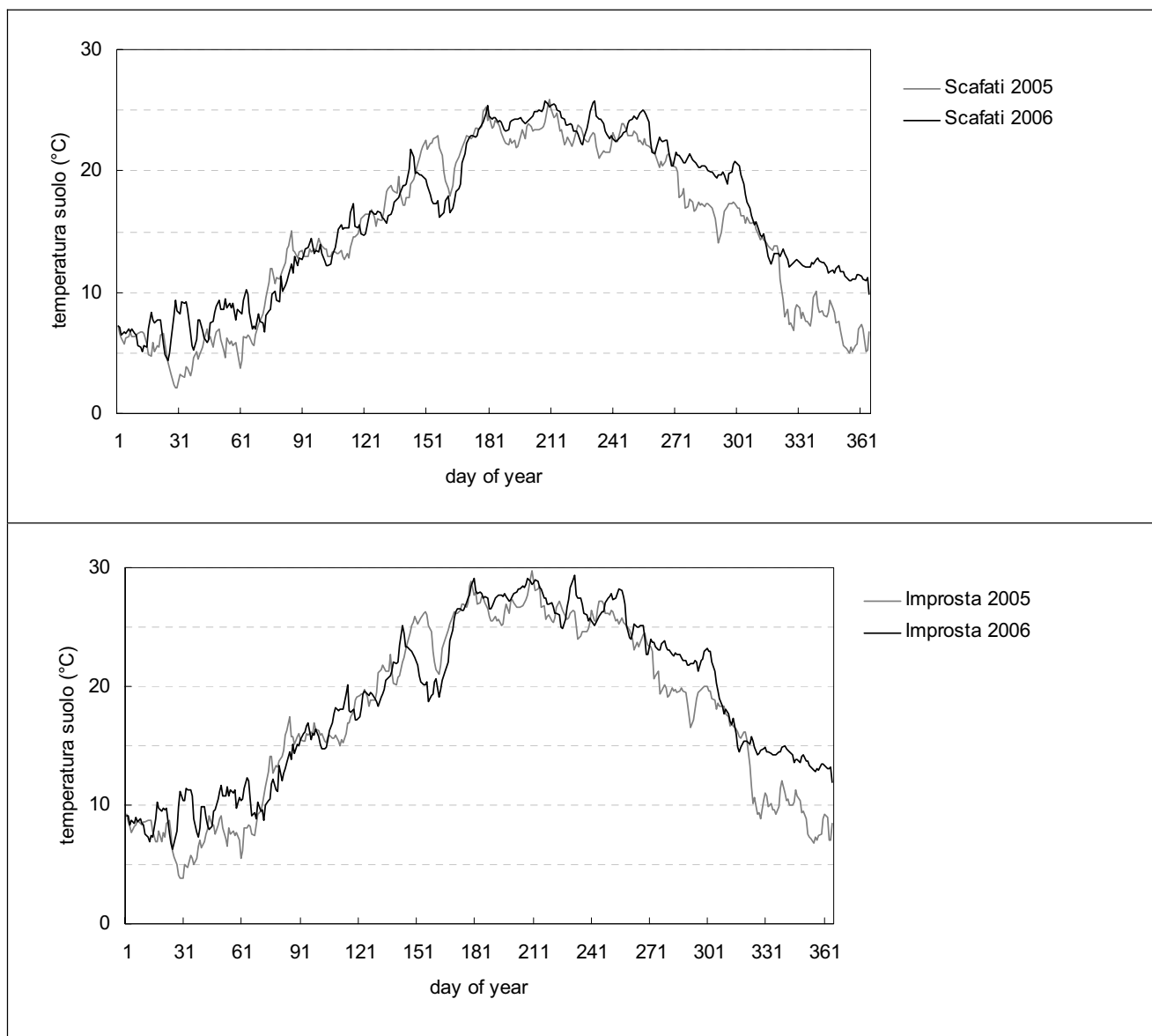


Fig. 4 - Andamento della temperatura media nello strato di suolo da 0 a 0.5 m di profondità per due pedo-ambienti campani, in un anno secco (2006) ed uno umido (2005).

Per quanto riguarda la temperatura del suolo (Fig.4) si possono fare considerazioni simili, anche se la temperatura media è rimasta su valori più elevati nel 2006 rispetto al 2005 per l'intero periodo autunno-invernale, mentre le differenze nel periodo primaverile-estivo sono state di entità ridotta e limitate a sfasamenti temporali apparentemente correlati con l'andamento delle precipitazioni. Questo risultato è correlato con l'andamento siccitoso del 2006, più precisamente con le variazioni relative della capacità e conducibilità termica del suolo umido rispetto a quello secco.

Gli esperimenti numerici confermano il ruolo dominante delle proprietà del suolo nel determinare la risposta all'andamento climatico, sia nel periodo secco, che in presenza di precipitazioni. Le maggiori precipitazioni nell'anno 2005 appaiono sufficienti a ricostituire la riserva d'acqua nello strato di suolo considerato (Fig.3).

3.2 Vite

Le regioni viticole per la produzione di vini di qualità sono situate in aree geografiche, e climatiche, relativamente limitate. Questa caratteristica determina una maggiore vulnerabilità della vite alla variabilità ed ai cambiamenti climatici rispetto ad altre colture con areale di coltivazione più esteso. Il previsto aumento di temperatura alla scala globale, continentale e delle zone di produzione, potrà probabilmente avere un impatto sia positivo sia negativo sulla produzione quali-quantitativa, aprendo nuove aree alla viticoltura, aumentando in alcune le possibilità di sviluppo, oppure mettendo a dura prova, in altre aree, la possibilità di coltivare adeguatamente la vite e produrre vino di qualità (Jones 2007). Inoltre, un altro dei potenziali impatti del previsto aumento di tem-

Tab. 1- Temperature medie del suolo nei siti di Scafati e Improsta, nel periodo aprile – ottobre del 2005 e 2006

ANNO	T SUOLO (°C)	T SUOLO (°C)	T ARIA (°C)
	SCAFATI	IMPROSTA	
2005	19.8	20.5	20.5
2006	22.9	23.5	21.6

peratura è la maggiore competizione per le risorse idriche, sempre più scarse (Van Leeuwen *et al* 2007).

Per considerare la viticoltura nel contesto dell'adattamento ai cambiamenti climatici, si può esaminare una relazione tra un indice termico e l'intervallo di maturazione di alcune varietà per la produzione di vini di qualità. Per esempio, la temperatura media della stagione di crescita (da aprile a ottobre, nell'emisfero Nord) può definire il potenziale climatico di maturazione delle varietà per vini di alta qualità, determinato nelle regioni mondiali di riferimento per ogni varietà (Fig. 5, da Jones 2006). Ad esempio, il Pinot nero di qualità viene da viti cresciute in regioni in cui la media della temperatura delle stagioni di crescita va da 14 a 16 °C (regioni a clima 'cool' e 'intermediate', Fig. 5), mentre il Cabernet Sauvignon della migliore qualità viene da vigneti di regioni più calde (clima da 'intermediate' a 'warm') con temperature medie da 16.5 a 19.5 °C.

Per ogni varietà l'ampiezza dell'intervallo ottimale di maturazione è di circa 2-3 gradi. I cambiamenti climatici potranno determinare, nella distribuzione delle varietà nelle diverse aree, situazioni diverse, sia in dipendenza dell'entità di aumento di temperatura, sia a seconda di dove si situa attualmente la temperatura media della stagione di crescita di un'area rispetto all'estensione delle condizioni ottimali di maturazione di una varietà. In alcune situazioni si potrà coltivare la stessa varietà, mantenendo gli attuali livelli qualitativi ottimali, in altre potrebbero rendersi necessari dei cambiamenti.

Van Leeuwen *et al* (2007) portano un esempio di come l'adozione in futuro di varietà alternative potrà presentare soluzioni, e quindi risultati, differenti nelle diverse aree. In alcune regioni possono essere disponibili varietà alternative già adattate all'area, in altre zone potrebbe essere necessaria l'introduzione di varietà nuove. Ad esempio, nella regione di Bordeaux, queste 'risorse interne' attualmente esistono: nella zona ha grande diffusione la cv Merlot (a maturazione precoce, raggruppamento 'intermediate' – 'warm') mentre la coltura della cv Cabernet Sauvignon (più tardiva, raggruppamento 'warm') è limitata ad alcune aree le cui caratteristiche fisiche accelerano la velocità di maturazione. Una possibilità di adattamento della viticoltura nella regione di Bordeaux potrebbe quindi essere l'estensione della coltura di Cabernet Sauvignon. In altre regioni viticole c'è un'unica varietà che produce ad elevati livelli qualitativi (ad esempio, il Pinot nero in Borgogna); in questo caso varietà più adatte a climi più caldi dovranno/potranno essere introdotte da altre regioni. Questo determinerà la necessità di riesaminare le caratteristiche della produzione delle nuove varietà introdotte nell'area, poiché cambiano alcu-

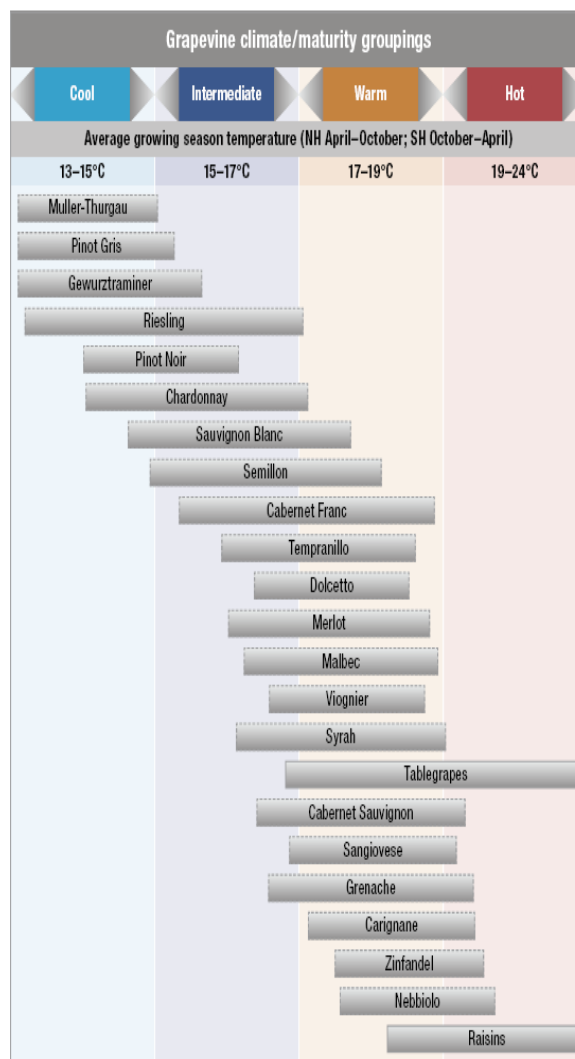


Fig. 5 - Raggruppamenti clima – maturazione per la vite, basati sulla media delle temperature della stagione di crescita e sull'estensione del potenziale di maturazione delle diverse varietà, determinato nelle regioni mondiali di riferimento per la varietà (da Jones, 2006).

ni fattori fisici che, insieme al clima, influenzano il continuum della produzione dalla vite al vino, quindi lo 'stile' dei vini prodotti.

Jones *et al* (2005a) analizzano l'evoluzione climatica di numerose zone viticole mondiali, tra cui l'area di produzione del Barolo. Per la produzione di qualità, il vitigno utilizzato (Nebbiolo) si situa nel raggruppamento climamaturazione 'warm'. Lo studio prevede, per quest'area geografica nel periodo 2000-2049, un aumento della temperatura media della stagione di crescita di 1.4 °C, rispetto alla media, osservata nel periodo 1950-1999, di 17.8 °C. L'area di produzione rimarrebbe perciò all'interno dell'intervallo di temperatura ottimale specifico per la varietà (Fig. 5). Sempre secondo i dati forniti dallo studio, una situazione diversa potrebbe potenzialmente verificarsi nell'area di produzione del Chianti, in cui la temperatura media (18.8 °C, 1950-1999) è vicina al limite superiore dell'intervallo ottimale per la produ-

zione della cv Sangiovese. Ipotizzando un aumento decennale di temperatura di 0.47 °C, il clima della zona potrebbe, entro il 2050, eccedere la soglia di temperatura ottimale.

In generale i raggruppamenti clima - maturazione evidenziano i confini termici entro i quali si esprime la viticoltura di qualità, e mostrano come gli impatti dei cambiamenti climatici non saranno uniformi per le diverse varietà e regioni, e che saranno specificamente in relazione con le soglie climatiche. Potranno, ad esempio, determinare cambiamenti di varietà in regioni che attualmente si trovano al limite dell'intervallo termico del potenziale di maturazione (Jones 2007).

Emergono inoltre alcune domande di ricerca:

- La necessità di analisi in aree specifiche. Ad esempio, analisi climatiche in Europa sull'aumento di temperatura degli ultimi 50 anni, studiato attraverso indici bioclimatici per la vite, hanno mostrato un maggior accumulo termico nelle zone interne, ma non nelle aree costiere (Jones et al 2005b);

- La necessità di studio degli effetti di altri fattori fisici legati all'aumento di temperatura, come l'aumento di concentrazione atmosferica di CO₂, il maggior rischio di stress idrico in regioni a scarsa piovosità, gli effetti dell'introduzione della pratica irrigua in nuove aree (rischi di salinizzazione, di aumento dei costi di produzione) (Van Leeuwen et al, 2007).

Un'analisi della possibile evoluzione della viticoltura provocata da modificazioni del clima è stata fatta, a titolo di esempio, nella Regione Campania, simulando le future condizioni pedoclimatiche e confrontando lo scenario ottenuto con le potenzialità di adattamento della coltura della vite. Si rileva che l'andamento della temperatura media giornaliera del suolo (considerando uno strato relativamente profondo, da 0 a 0.5 m) ha un andamento e valori simili alla temperatura media giornaliera dell'aria in prossimità della superficie e riflette gli effetti combinati del bilancio di energia del sistema suolo-pianta-atmosfera e delle proprietà termiche del suolo. Nei due siti in cui è stato condotto l'esperimento numerico, si è calcolato l'andamento della temperatura media giornaliera del suolo, come descritto in precedenza (Fig.4). In Tabella 1 sono riportate le temperature medie del suolo nei due siti e dell'aria, per la stagione di crescita della vite (aprile – ottobre), nei due anni climaticamente diversi (2005 e 2006). La temperatura del suolo in entrambi i siti è aumentata notevolmente (3 °C) nell'anno secco (2006) rispetto all'anno umido (2005). L'effetto del contenuto idrico del suolo ha perciò un effetto dominante nel determinarne le proprietà termiche, come indica la ridotta differenza (0.6°C) tra le temperature medie (2005-2006) dei due siti.

Sulla base di queste considerazioni possiamo prendere come riferimento la temperatura stimata dell'aria: 20.5 °C nel 2005 e 21.6 °C nel 2006. Questi valori ci permettono di illustrare, a titolo puramente esemplificativo, l'uso delle informazioni fornite dalla Fig. 5 per identificare le varietà di vite che meglio si adattano alle condizioni pedo-climatiche del territorio considerato. Le varietà per le quali le condizioni osservate sono da considerarsi ottimali sono le uve da tavola e da appassimento, senza

Tab. 2 Differenze nella resistenza alla siccità di alcune specie di cereali, in ordine di resistenza decrescente (adattata da Morgan, 1992)

Cereali autunno-vernini	Cereali estivi
Orzo	Miglio
Triticale	Sorgo
Grano duro	Mais
Grano tenero	Riso
Avena	

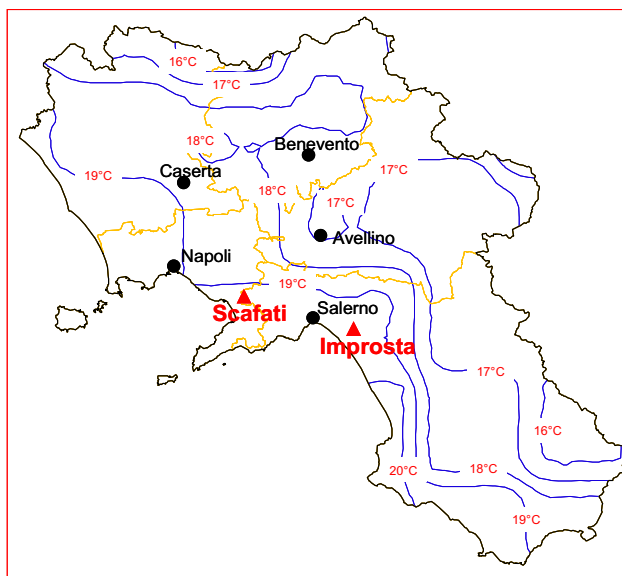


Fig. 6 -Temperatura media dell'aria in Campania nel periodo 1961-1990 (trentennio di riferimento Organizzazione Meteorologica Mondiale, OMM/WMO); dati estratti da Perini et al. (2004)

variazioni di rilievo tra i due anni, nonostante l'estrema differenza nella precipitazione annua.

C'è da notare che i due siti considerati sono caratterizzati da temperature più elevate rispetto all'andamento generale nella regione Campania (Fig. 6), soprattutto rispetto alle aree collinari delle province di Benevento e Avellino, in cui si situano le zone maggiormente vocate per la viticoltura di qualità. Combinando le informazioni presentate in Fig. 5 con la carta in Fig.6, si nota che un aumento di 2 °C nella temperatura media giornaliera del periodo aprile – ottobre sposterebbe alcune aree dal raggruppamento a clima 'intermediate' (intervallo 15-17 °C), situandole nel raggruppamento a clima 'warm' (intervallo 17-19 °C); le aree saranno quindi, dal punto di vista climatico, in grado di portare a maturazione ottimali cultivars che ora tipicamente sono allevate in climi caldi.

3.3 Frumento e cereali

Il frumento è moderatamente tollerante alla salinità (Munns 2007) e tollerante alla siccità. Orzo e frumento sono i cereali più diffusi nella maggior parte delle regioni aride e semi-aride; la maggior parte della produzione (a

Tab. 3 Produttività di granella e sue componenti in due cultivars primaverili di frumento (Longchun 8139-2, poco resistente alla siccità e Dingxi 24, tollerante alla siccità) sottoposte a tre differenti livelli di siccità; $W = 85\%$ della capacità di campo; $M = 50\%$ della capacità di campo; $S = 30\%$ della capacità di campo; per ogni cultivar i valori seguiti dalla stessa lettera indicano differenze non significative a $p < 0.05$; adattata da Liu et al. (2005)

Cultivar	TRATTAMENTO	NR. DI SEMI PER SPIGA	PESO DI 1000 SEMI (g)	NR. DI SPIGHE FERTILI	PRODUTTIVITÀ IN GRANELLA (g PIANTA ⁻¹)
Longchun 8139-2	W	17.9a	35.03b	3.21a	0.446a
	M	11.6b	37.81a	2.45c	0.387b
	S	5.60d	28.97d	2.28c	0.176c
Dingxi 24	W	14.2a	32.71c	2.66b	0.426a
	M	13.9a	33.35b	2.56b	0.436a
	S	7.68c	30.35c	1.64d	0.370b

livello mondiale) è irrigua, ma consistenti aree sono in asciutto. In conseguenza ai cambiamenti climatici ci si deve aspettare un'estensione di queste ultime e un maggior rischio di salinizzazione, legato soprattutto all'irrigazione. Il mantenimento della produttività di queste colture a fronte dei previsti stress abiotici (idrico, salino) può essere perseguito sia con l'adattamento delle tecniche agronomiche che con l'adattamento varietale. Per la risposta alla salinità, ci sono studi che quantificano la risposta di numerose linee di germoplasma ai livelli di salinità (Sayed, 1985); le linee selezionate e testate in campo sono però molte di meno (Munns, 2007).

Tra le strategie da perseguire per mitigare l'impatto delle variazioni del clima sull'agricoltura, la scelta sia delle specie che delle cultivars offre un notevole potenziale non solo per la riduzione degli impatti, ma anche per lo sfruttamento dei benefici associati a tali variazioni. L'uso di cultivars ad alta tolleranza agli stress abiotici costituisce una base utile per ulteriori miglioramenti genetici delle colture. Un esempio della scelta di specie in funzione della resistenza alla siccità è la sequenza di cereali

presentata di seguito (Tabella 2) e descritta da Morgan (1992).

La variabilità genetica nella tolleranza agli stress abiotici (siccità, salinità) di genotipi di grano (*Triticum aestivum* e *T. durum*), uno dei cereali più diffusi al mondo, è significativa. Eventi di siccità, con modalità e intensità diverse, colpiscono almeno il 25% dei 99 milioni di ettari di grano nei Paesi in via di sviluppo (Rajaram et al., 1996). Sono state identificate tre differenti tipologie di siccità (Kohli et al. 1988, Calhoun et al. 1994, Rajaram et al. 1996): i) early drought, caratteristica del cono meridionale dell'America Latina, si verifica frequentemente nelle fasi iniziali del ciclo di crescita del grano, mentre la disponibilità idrica è adeguata o perfino eccessiva nelle fasi dalla spigatura alla maturazione; ii) late drought, caratteristica della regione Mediterranea, dove la disponibilità idrica è normalmente sufficiente negli stadi iniziali della crescita, mentre si possono verificare eventi siccitosi nella fase finale del ciclo di crescita; iii) residual moisture drought, caratteristica di alcune zone dell'Australia e del sub-continente Indiano, dove il grano viene prodotto proprio grazie all'umidità residuale.

La variabilità genetica nella risposta produttiva dei cereali in presenza di siccità è documentata da molti studi basati su misure di produttività (Fischer et al., 1978) che hanno utilizzato indicatori quali il rapporto tra la produttività di granella in condizioni di siccità e la produttività in assenza di stress idrico; il rapporto normalizzato e l'indice di sensibilità alla siccità (DST). La produttività di granella in condizioni siccitose è un indicatore interessante in quanto determinata dall'azione combinata delle condizioni ambientali e dai fattori genetici che determinano la produttività potenziale (Blum, 1988).

Le differenze tra genotipi sono state documentate da Liu et al. (2005), e tra cultivars e razze autoctone da Dencic et al. (2000), studiando 30 varietà e 21 razze provenienti da diversi Paesi. Per due gruppi tra cinque per le varietà ed un gruppo fra tre per le razze sono state osservate produttività prossime ai valori ottimali sia in condizioni quasi ottimali che siccitose (Tabella 3). Va detto inoltre che ulteriori progressi potrebbero essere ottenuti con la selezione ed il miglioramento genetico.

Data la notevole variabilità intervarietale nella risposta del frumento agli stress abiotici, i requisiti pedoclimatici di questa coltura sono complessi. I requisiti termici ad esempio (Mathews et al., 2007) sono stati studiati per un

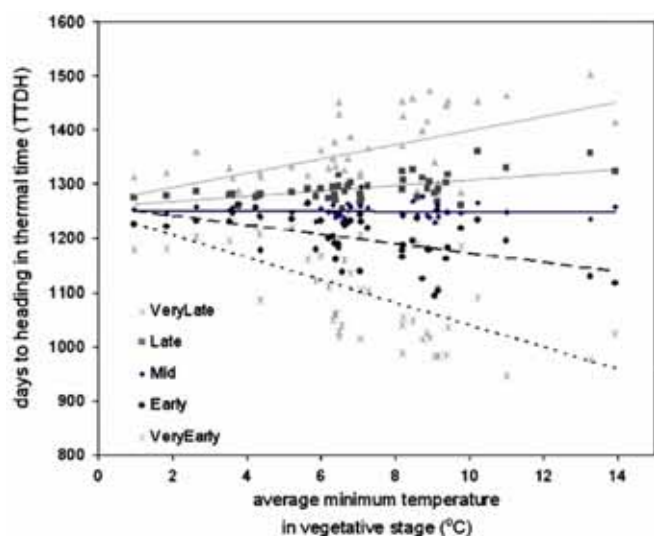


Fig. 7 - Giorni dalla semina alla spigatura, espressi in gradi giorno, verso la temperature minima media nello stadio vegetativo, per 41 linee di frumento a ciclo primaverile in 51 esperimenti a scala globale (International Adaptation Trial, IAT); adattata da Mathews et al. (2007)

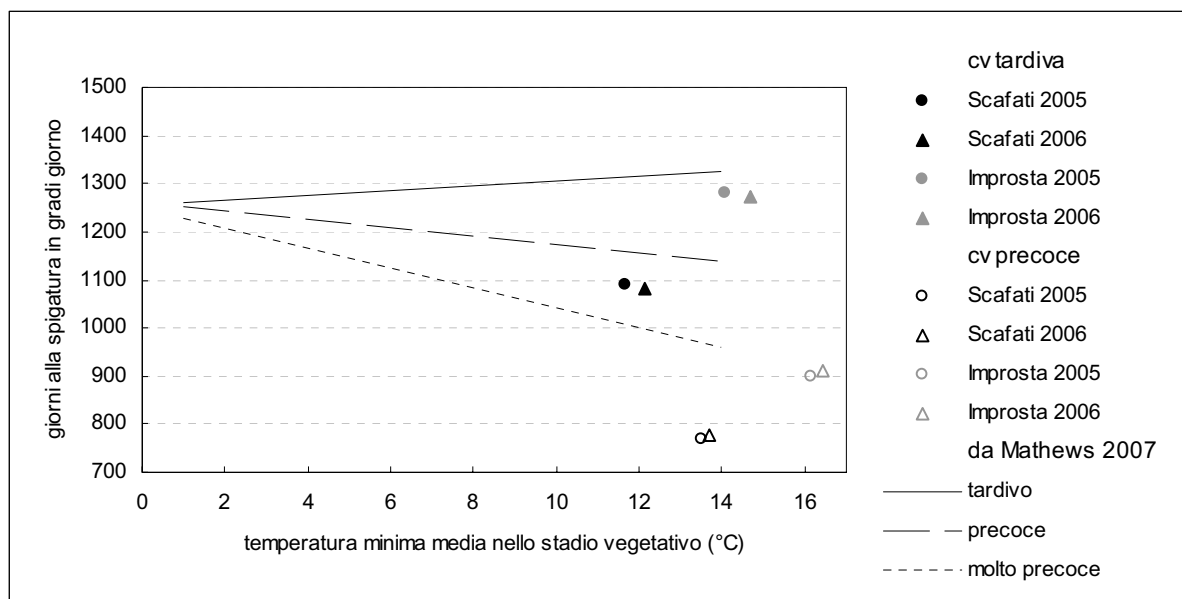


Fig. 8 - Giorni dalla semina alla spigatura, espressi in gradi giorno, verso la temperatura minima media nello stadio vegetativo, per una cultivar precoce e una tardiva di frumento primaverile in due pedo-ambienti campani, in un anno secco (2006) ed uno umido (2005). Le rette rappresentano i requisiti termici di tre gruppi di maturazione di cultivars, determinati da Mathews *et al* (2007)

numero elevato di linee, e definiti in funzione del ciclo di accrescimento e delle diverse fasi fenologiche.

Non è quindi possibile identificare in modo immediato le linee con maggior attitudine per il regime termico di un sito specifico, in modo analogo a quanto fatto in precedenza per la vite.

Mathews *et al.* (2007) presentano un'analisi comparativa, in 51 esperimenti a scala globale (International Adaptation Trial, IAT), dei requisiti termici di 41 linee di frumento a ciclo primaverile, selezionate per costituire un pool genetico di riferimento per i programmi di miglioramento genetico. Ogni linea è stata caratterizzata (Fig. 7) dalla temperatura minima media nello stadio vegetativo (dall'accostamento alla spigatura) e dalla somma termica nel periodo dalla semina alla spigatura (con $T_{base} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Evidentemente i valori di questi indicatori dipendono dalla linea in esame e quindi non è possibile caratterizzare il regime termico e successivamente usare i valori ottenuti per identificare le linee (o più generale le cultivars) più adatte a tali condizioni termiche. Vista la quantità ed il dettaglio dell'informazione sperimentale disponibile è però possibile individuare un insieme di linee adatte al regime termico considerato. Prendendo a riferimento un valore qualunque della temperatura minima media nello stadio vegetativo (Fig.7) ed intersecando verticalmente i dati sperimentali si incontrano osservazioni relative a linee diverse con ciclo di durata crescente (da precoci a tardive).

Questo metodo può essere chiarito ulteriormente con un esempio riferito al regime termico per i due siti ed i due anni considerati in questo studio. Si è scelto di considerare due varietà di frumento primaverile: una precoce, con ciclo di 100 giorni e data di semina 15 aprile, ed una tardiva, con ciclo di 140 giorni e data di semina 20 marzo. Per quanto

riguarda la lunghezza delle fasi del ciclo sono state usate le indicazioni di Doorenbos *et al.* (1979), ottenendo la durata della fase vegetativa (30 giorni per la cultivar precoce e 50 per quella tardiva) e della fase dalla semina alla spigatura (45 giorni per la precoce e 70 per la tardiva). Successivamente abbiamo determinato, in modo analogo a quanto fatto in Fig.7, la temperatura minima media e la somma termica nelle fasi fenologiche corrispondenti per i due siti (Scafati ed Improsta) ed i due anni (secco, 2006, ed umido, 2005) ottenendo i risultati in Fig. 8.

Per verificare se le due cultivars ipotizzate esistano effettivamente è necessario usare la Fig.7 con i valori dei due indicatori che caratterizzano il regime termico dei due siti e dei due anni. Come si vede il solo caso della cultivar precoce per il sito di Scafati non sembra trovare riscontro tra le linee considerate in Fig.7 ed è interessante notare come le differenze tra l'anno secco (2006) ed anno umido (2005) siano trascurabili in tutti i casi, nonostante la differenza notevole nelle precipitazioni. Va comunque sottolineato che le differenze nella lunghezza del ciclo e nella durata delle fasi fenologiche implicano rischi climatici diversi, ad esempio esposizione alla siccità in una specifica fase fenologica, che rimangono da valutare.

3.4 Olivo.

Esiste una notevole quantità di informazioni riguardo alla risposta produttiva, resistenza allo stress idrico ed alle basse temperature di un gran numero di varietà di olivo. Tra quelle ad alta produttività, sia la resistenza allo stress idrico che alle basse temperature variano da un livello definito qualitativamente 'basso' ad uno 'alto'.

La difficoltà sta nello stabilire i limiti quantitativi corrispondenti ai livelli di stress idrico e (basse) temperature.

Tab. 4 - Attitudine produttiva, resistenza allo stress idrico e alle basse temperature di alcune cultivars di olivo (adattato da FAO, 2006 <http://apps3.fao.org/wiews/olive/oliv.jsp>)

CV	Attitudine	Produttività			Resistenza allo stress idrico			Resistenza alle basse temperature		
		Bassa	Media	Alta	Bassa	Media	Alta	Bassa	Media	Alta
Ascolana tenera	Mensa		x			x				x
Bella di Cerignola	Mensa		x		x			x		
Bianchera	Olio			x			x			x
Bosana	Olio			x		x				x
Carolea	Olio/mensa			x		x				x
Carolea	Olio/mensa			x		x				x
Casaliva	Olio			x	x			x		
Cellina di Nardò	Olio			x			x			x
Coratina	Olio			x		x				x
Frantoio	Olio			x		x		x		
Giarraffa	Media		x		x				x	
Itrana	Olio/Mensa			x		n.d.				x
Kalamata	Mensa			x		n.d.			x	
Leccino	Olio			x		x				x
Majatica	Olio/Mensa			x	x				x	
Maurino	Olio			x		n.d.			x	
Moraiolo	Olio			x		x		x		
Nocellara del Belice	Mensa		x		x				x	
Ortolana	Olio/Mensa			x		n.d.		x		
Ottobratica	Olio			x			x			x
Pendolino	Olio			x		n.d.			x	
Pisciottana	Olio			x			x		x	
Racioppella	Olio			x		x			x	
Sinopolese	Olio			x			x			x
Tonda Iblea	Mensa			x			x		x	

Con i risultati ottenuti riguardo alle caratteristiche pedoclimatiche dei due siti, Scafati ed Improsta, è possibile sviluppare un'analisi simile a quella precedente, ma riferita alla risposta dell'olivo al deficit idrico. La resistenza alla siccità dell'olivo è generalmente valutata in termini qualitativi: la base di dati FAO (2006), contenente informazioni su un elevato numero di varietà di olivo, qualifica tale resistenza in bassa, media ed alta. Allo scopo di individuare le cultivar più adatte in funzione delle caratteristiche pedo-climatiche è necessario tradurre in termini quantitativi le indicazioni qualitative riportate sopra, sulla base di risultati sperimentali sulla risposta dell'olivo alla disponibilità d'acqua. L'analisi presentata di seguito è basata su esperimenti realizzati presso l'Azienda Sperimentale dell'ISAFOM sita in Piano Cappelle (Benevento) e descritti da d'Andria *et al.* (2004, 2007).

A differenza della maggior parte delle specie arboree coltivate, l'olivo può assorbire acqua dal suolo anche a potenziali idrici di circa -2.5 MPa, mantenendo una certa attività fotosintetica a livello di foglia. Ciò nonostante, in letteratura si riporta che i primi sintomi di stress per carenza idrica si manifestano in corrispondenza di potenziali idrici del suolo di circa -0.08 MPa (Xiloyannis *et al.*, 2003). Orgaz *et al.* (1998) riportano che l'olivo non mostra evidenti sintomi di stress idrico fino al livello del 75% di acqua disponibile nel suolo.

Queste sono caratteristiche generiche che consentono di inquadrare la specie ma non tengono conto delle peculiarità varietali, infatti bisognerebbe cominciare a parlare di cultivars di olivo con specifiche caratteristiche di resistenza o tolleranza agli stress abiotici. Ad esempio in alcune prove sperimentali di campo la produzione per uni-

tà di volume idrico stagionale è risultata compresa in un intervallo di 5-8 kg mm⁻¹ per la cv. Frantoio e 9-11 kg mm⁻¹ per la cv. Leccino nell'anno di 'scarica', mentre, nell'anno di 'carica', la produzione è stata di 54-341 kg mm⁻¹ per il Frantoio e 57-352 kg mm⁻¹ per il Leccino. Questi valori diminuiscono con l'aumento della quantità di acqua d'irrigazione somministrata, confermando che il Leccino ha una migliore efficienza dell'uso dell'acqua rispetto al Frantoio almeno quando questa disponibilità idrica è relativamente scarsa (Tognetti *et al.*, 2002, 2006).

Allo scopo di interpretare con più precisione le indicazioni sulla resistenza alla siccità estratte dalla letteratura, sono stati ri-analizzati dati sperimentali raccolti dall'ISAFOM sin dal 1992 (Tognetti *et al.*, 2006) per sette cultivar di olivo: Fran-

toio, Leccino, Ascolana tenera, Maiatica, Itrana, Kalamata e Nocellara del Belice. Nella prova sperimentale (dall'anno 2003), sono stati posti a confronto un trattamento non irrigato; e tre tesi a restituzione crescente dell'evapotraspirazione potenziale (33, 66 e 100% di ETp, calcolata da ETo di evaporimetro classe A), dalla fase fenologica dell'inizio indurimento nocciolo fino al momento della raccolta. Questi dati sperimentali possono essere utilizzati per la caratterizzazione della risposta delle cultivar in prova al deficit idrico.

Per tutte le tesi non irrigate lo stress idrico di maggiore entità si è manifestato nel periodo dal 5 luglio al 28 ottobre; in questo periodo il contenuto idrico volumetrico del suolo è stato prossimo al punto di appassimento variando dal 22.2 al 22.8%. In tale periodo gli stadi fenologici dell'olivo nell'ambiente di prova comprendono il periodo che va dall'indurimento del nocciolo fino al 50% dell'invaiaura. Queste fasi vengono considerate particolarmente sensibili allo stress idrico per la formazione della produzione in termini quantitativi e qualitativi.

Le cv. Itrana e Kalamata allevate senza apporto irriguo hanno mostrato il decremento produttivo maggiore rispetto alle altre. La tesi non irrigata dell'Ascolana tenera ha prodotto il 43% in meno rispetto alla tesi con restituzione del 100% dei consumi e questa cv. si è dimostrata la più produttiva quando irrigata (22.9 kg per pianta per la tesi più irrigata). Le tesi asciutte delle due cv. da olio (Frantoio e Leccino) hanno mostrato le riduzioni in peso e diametro del frutto minori rispetto alle tesi irrigate al 100% di ETp, a dimostrazione della maggiore adattabilità di tali cv. allo stress idrico.

La ridotta produttività del controllo non irrigato delle due cv. da olio è dovuto alla diminuzione del peso medio delle drupe, tale comportamento è meno evidente per le cv. da mensa e in particolare per la Kalamata, la cui riduzione produttiva è associata anche a un minor numero di frutti nelle tesi più stressate. Lo stress idrico migliora il contenuto in polifenoli totali nell'olio, sebbene la diminuzione di queste sostanze nelle tesi a maggior restituzione del consumo è stata minore nelle due cv. da olio che in quelle da mensa e a duplice attitudine.

La variazione della produzione relativa Y_r (rapporto tra la produzione misurata per un trattamento con irrigazione parziale e la produzione della tesi con restituzione del 100% dei consumi idrici) in funzione del valore di p (frazione della riserva idrica utile nello strato di suolo in cui è attiva la maggior parte dell'apparato radicale) permette di stimare in modo approssimato il valore di p a cui corrisponde un incremento netto nella sensibilità della produzione relativa al deficit idrico (Fig.9). Nelle cv Frantoio e Leccino la produzione rimane elevata sino a valori elevati del deficit idrico (valori elevati di p), con Y_r pari a 0.8 a $p = 0.7$, contrariamente a quanto indicato nella base di dati FAO (2006) (Tabella 4), che indica per le due cultivar una resistenza 'media' allo stress idrico. L'interpretazione dei risultati per le cultivar Ascolana tenera e Maiatica è immediata: il decremento in Y_r è ridotto per valori $p < 0.5$, indicando una resistenza media allo stress idrico, in accordo con FAO (2006) per quanto riguarda l'Ascolana ed in disaccordo per quanto riguarda la Maiatica. Infine, le cv Itrana e Kalamata rispondono allo stress idrico con una riduzione accentuata e quasi lineare, che implica una bassa resistenza, fornendo un'utile integrazione alla base dati FAO (2006) che non riporta alcuna indicazione per questi due cultivars. La Nocellara del Belice ha avuto un comportamento produttivo simile alla Kalamata e all'Itrana: riduzione relativa

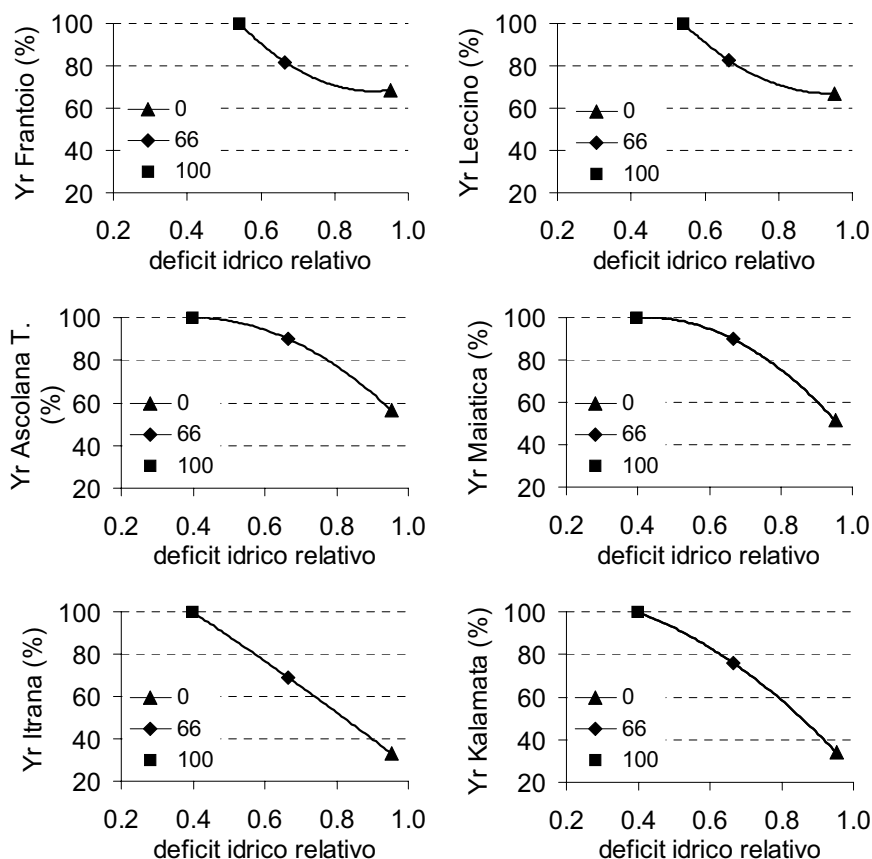


Fig. 9 - Produzione relativa (Y_r) di sei cultivar di olivo, con tre trattamenti irrigui (0, 66, 100% di ETp), in funzione del deficit idrico relativo, p .

di produzione lineare con l'incremento della frazione di riduzione p , confermando l'indicazione della base di dati FAO (2006) che indica, per questa cv., una resistenza 'bassa' allo stress idrico.

Questi risultati permettono di associare, almeno in via preliminare, valori numerici di p alle valutazioni qualitative di resistenza alla siccità:

- resistenza bassa $p < 0.5$
- resistenza media $0.5 < p < 0.7$
- resistenza alta $p > 0.7$

Anche se questa classificazione convenzionale richiede ulteriori conferme sperimentali, ci permette di interpretare gli andamenti simulati del regime idro-termico dei due pedo-ambienti usati in questo studio come riferimento. Date le curve di ritenzione dei due suoli considerati, è possibile determinare il valore giornaliero di p (Fig.10) corrispondente al contenuto d'acqua (calcolato) medio per lo strato di suolo da 0 a 0.5 m. La riserva idrica, calcolata per differenza tra capacità idrica di campo e punto di appassimento, del suolo 'Improsta' è pari a $0.114 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, mentre è $0.144 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ per 'Scafati'.

Analogamente all'analisi esemplificativa presentata riguardo alla vite, è possibile individuare cultivar di olivo adatte alle condizioni pedo-climatiche caratterizzate dall'entità ed andamento del deficit idrico. Sia

Tab. 5 - Valori medi della frazione utilizzata della capacità totale di ritenzione idrica del terreno, p ; nei siti di Scafati e Improsta, nel periodo aprile-ottobre del 2005 (umido) e 2006 (secco)

ANNO	p	
	SCAFATI	IMPROSTA
2005	0.23	0.70
2006	0.27	0.74

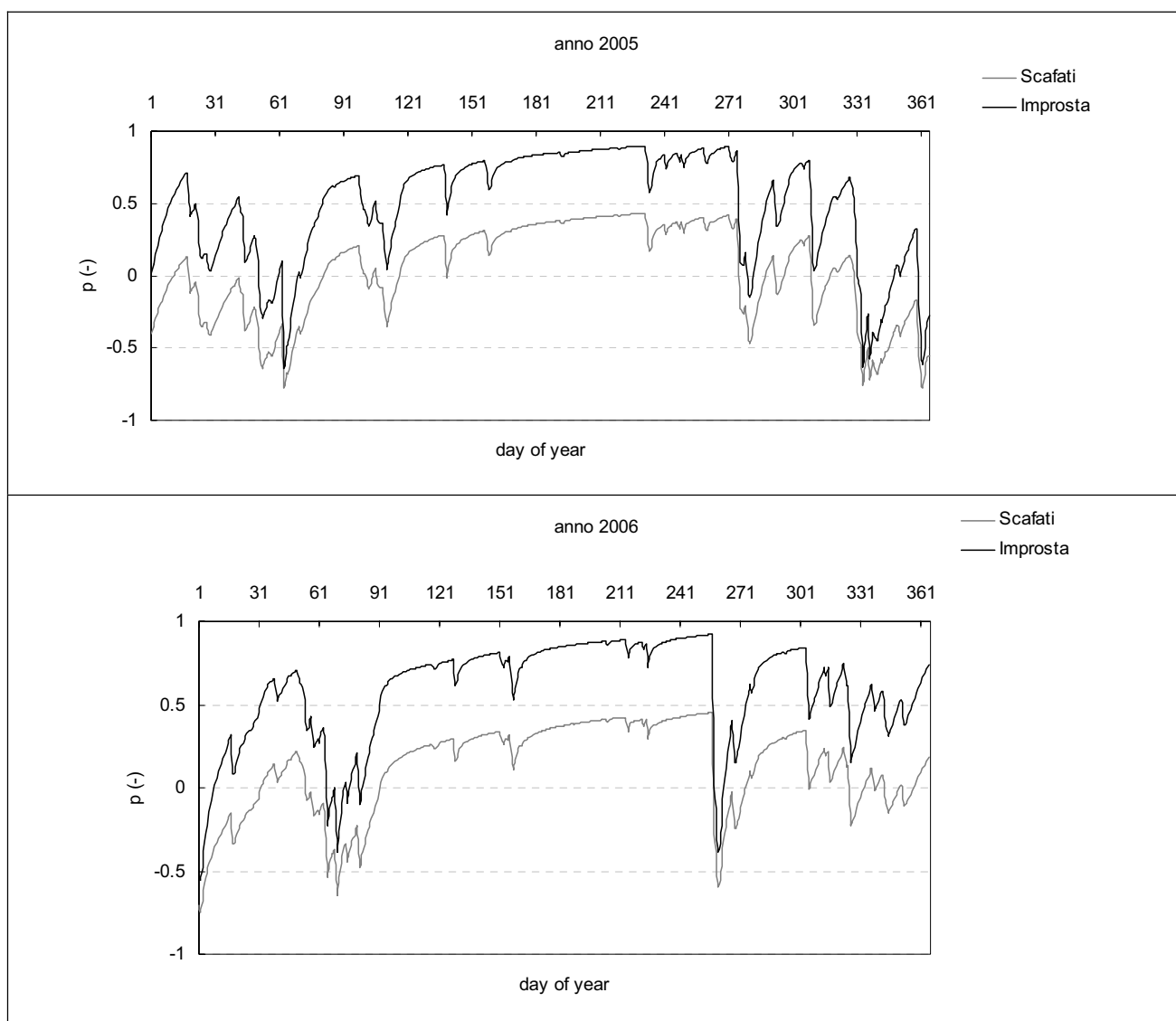


Fig. 10 - Andamento della frazione p della riserva idrica utile del terreno di due pedo-ambienti campani per un anno secco (2006, piovosità 621 mm) ed uno umido (2005, piovosità 979.8 mm)

l'andamento giornaliero simulato per i due anni ed i due suoli (Fig.10), che i valori medi relativi al periodo 1 aprile – 31 ottobre (Tab.5), mostrano chiaramente come l'effetto delle proprietà fisiche dei due suoli sia dominante rispetto alla pur notevole differenza di precipitazione tra il 2005 ed il 2006. L'effetto della differenza tra anno secco (2006) ed umido (2005) è evidente peraltro nei mesi di ottobre – dicembre.

Una selezione di cultivars di olivo estratta da FAO (2006) documenta una notevole differenziazione nella tolleranza alla siccità. Vista la notevole differenza di riserva idrica del suolo tra le condizioni stimate per i due siti, si può concludere che le condizioni di 'Scafati' consentirebbero la coltivazione di cultivars a bassa resistenza, mentre quelle di 'Improsta' richiederebbero cultivars ad alta tolleranza, anche se il valore medio di p , compreso tra 0.70 e 0.75, non è molto più elevato del valore critico p determinato come descritto in precedenza da dati sperimentali.

I dati sperimentali presentati e discussi in precedenza (Fig.9) permettono di concludere che le condizioni del pedo-ambiente Scafati sono idonee per le cultivars Itrana e Kalamata (o per cv a resistenza più elevata allo stress idrico), mentre solo le cv Frantoio e Leccino sono compatibili con il pedo-ambiente del sito Improsta.

Conclusioni

Lo scopo di questo lavoro è di descrivere un metodo e di dimostrarne la fattibilità con esempi concreti di analisi. Il metodo proposto per identificare cultivars adatte alle condizioni climatiche attuali o previste ha due punti di forza:

1. L'uso di modelli numerici del sistema suolo-pianta-atmosfera permette di caratterizzare il regime idrotermico tenendo conto delle proprietà del suolo e della variabilità spaziale dell'energia radiante;
2. La caratterizzazione dei requisiti pedoclimatici per un numero elevato di cultivars permette di beneficiare della variabilità genetica nella risposta agli stress a-

biotici al fine di identificare opzioni concrete di adattamento dell'agricoltura al clima in evoluzione.

È importante sottolineare la ricchezza del patrimonio di conoscenze relativo a linee e cultivars di tutte le colture più importanti: migliaia di linee e centinaia di cultivars sono state valutate con esperimenti centrati sulla caratterizzazione dei tratti genetici rilevanti al fine della resistenza agli stress abiotici, associando ad ogni esperimento semplici indicatori delle condizioni climatiche. In altre parole, tali indicatori diventano l'unica chiave d'accesso a questa base di conoscenze, una volta che il problema da risolvere sia inverso: dato il clima, trovare la o le cultivars più adatte.

Al fine di effettuare analisi comparative, lo sforzo da fare è nella standardizzazione degli indicatori usati per caratterizzare i requisiti pedo-climatici, come messo in evidenza nella presentazione dei tre casi precedenti.

Lo studio presentato è affetto da molte approssimazioni:

1. I due siti considerati, Scafati ed Improsta, sono stati scelti per l'accurata caratterizzazione dei suoli e delle loro proprietà fisiche, ma rappresentano una zona con temperature elevate rispetto all'andamento in Campania e sono quindi scarsamente rappresentativi di questa regione.
2. Le condizioni pedoclimatiche sono state simulate per semplicità in assenza di coltura e dovranno essere ripetute in seguito usando una cultivar rappresentativa di ciascuna specie, anche se le differenze rispetto a quanto presentato dovrebbero essere limitate, visto l'uso di indicatori aggregati e semplificati.
3. La base di dati sulla resistenza di cultivars a stress abiotici potrebbe essere facilmente ampliata e la ricerca delle cultivars più adatte dovrebbe essere automatizzata.
4. Non è stata ancora sviluppata un'applicazione in ambiente SIG che effettui le operazioni di simulazione ed analisi in modo distribuito.

Va però detto che nonostante tali limitazioni il metodo proposto è fattibile e ci ha permesso di dimostrare che la grande variabilità genetica nella risposta agli stress abiotici può essere sfruttata per individuare cultivars adatte ad un ampio spettro di condizioni climatiche, anche in presenza di notevoli variazioni nella disponibilità d'acqua, come nel caso due anni, secco ed umido, considerati in questo studio.

Bibliografia

Amiri, A., Nsarellah, N., Meknis, 1998. *Breeding for resistance to drought and salinity in durum*. In: Nachit, M.M., Andersen, M.N., Asch, F., Wu, Y., Jensen, C.R., Næsted, H., Mogensen, V.O., Koch, K.E., 2002. *Soluble invertase expression is an early target of drought stress during the critical, abortion-sensitive phase of young ovary development in maize*. *Plant Physiol.* 130, 591-604.

Arakawa K, Katayama M, Takabe T. *Levels of betaine and betaine aldehyde dehydrogenase activity in the green*

Aspinall D, Paleg L. *Proline accumulation: physiological aspects*. In: Paleg LG, Aspinall D, (Eds.) *The physiology and biochemistry of drought resistance in plants*. New York: Academic Press, 1981:205-464.

Bonfante A., Terribile F. 2006. *Zonazione viticola; un approccio su base fisica*. *Il Suolo - Bollettino dell'Associazione Italiana Pedologi*, n. 1-3 <http://www.aip-suoli.it/bollettino/n1-3a06/n1-3a06.htm>

Blum, A., 1988. *Plant breeding for stress environments*. CRC Press, Boca Raton, FL, 38-78

Calhoun, D.S., G. Gebeyehu, A. Miranda, S.Rajaram, and M. van Ginkel. 1994. *Choosing evaluation environments to increase wheat grain yield under drought conditions*. *Crop Science* 34: 673-678

Campbell, G.S., 1985. *Soil Physics with Basic*. Elsevier, Amsterdam.

Ceccarelli, S., Acevedo, E., Grando S. 1991 *Breeding for yield stability in unpredictable environments: single traits, interaction between traits, and architecture of genotypes*. *Euphytica* 56:169-185

Clarke, H.J. and Siddique, K.H.M. (2004a). *Response of chickpea genotypes to low temperature stress during reproductive development*. *Field Crops Research*, 90: 323-334.

Clarke, H.J., Khan, T.N., Siddique, K.H.M. 2004b. *Pollen selection for chilling tolerance at hybridisation leads to improved chickpea cultivars*. *Euphytica*, 139, 65-74.

Cooper, P.J.M. and P.J. Gregory. 1987. *Soil water management in the rain-fed farming systems of the Mediterranean region*. *Soil Use Manage.* 3, 57-62.

Cutler A 2005 *Understanding Abscisic Acid*. *J Plant Growth Regul* (2005) 24:251-252

d'Andria R., Lavini A., Morelli G., Patumi M., Terenziani S., Calandrelli D., Fragnito F. 2004. *Effect of water regimes on five pickling and double aptitude olive cultivars (Olea europaea L.)*. *Journal of horticultural Science & Biotechnology*, 79:18-25.

d'Andria R., Lavini A., Morelli G., Sebastiani L., Tognetti R. 2007 *Long-term yield and physiological responses of olive tree (Olea europaea L., cv. Frantoio and Leccino) to deficit irrigation*. Submitted to *Plant Biosystem*.

Dane, J.H. e Hopmans, J.W., 2002 *Water retention and storage*. In Dane, J.K. & Topp, G.C. (eds) *Methods of soil analysis: Part 4 - Physical methods*, SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI.

Dencic S., Kastori R., Kobjiski B., Duggan B, 2000. *Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions*. *Euphytica*, 113, 43-52

Doorenbos J, Kassam AH, Bentvelsen CIM 1979 *Yield Response to Water*. FAO Irrigation and Drainage Paper 33. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome

FAO (2006). *FAO Olive Germplasm Database*. [online] URL: <http://apps3.fao.org/wiews/olive/oliv.jsp>

Fereres, E., Orgaz, F. & F.J. Villalobos. 1998. *Crop productivity in water-limited environments*. In: *Proceedings of the Fifth ESA Congress, Nitra, The Slovak Republic*: 317-318

Fischer, R.A. & R. Maurer, 1978. *Drought resistance in spring wheat cultivars: I. Grain yield responses*. *Aust J Agric Res* 29:897-912

Foolad, M.R., P.Subbiah, C. Kramer. G. Hargrave & G.Y. Lin. 2003. *Genetic relationships among cold, salt and drought tolerance during seed germination in an interspecific cross of tomato*. *Euphytica* 130, 199-206

Gregory, P.J. 2006. *Food Production under Poor, Adverse Climatic Conditions*. In Proc., IX ESA Congress 4-7 September 2006, Warsaw, Poland, 19 pp.

Huang, L, Ye, Z., Bell, R.W., Dell, B. 2005. *Boron nutrition and chilling tolerance of warm climate crop species*. *Annals of Botany* 96, 755-767

Ibarra-Caballero J, Villanueva-Verdugo C, Molina-Galan J, Sanchez-de-Jimenez E., 1988. *Proline accumulation as a symptom of drought stress in maize: a tissue differentiation requirement*. *J Exp Bot* vol. 39:889-97.

Joffre, R. and S. Rambal. 2002. *Mediterranean Ecosystems*. *Encyclopedia of Life Sciences*. Macmillan Publishers Ltd, Nature Publishing Group / www.els.net, p.1-7

Jones GV, White MA, Cooper OR, Storchmann K 2005a *Climate Change and Global Wine Quality*. *Climatic Change*, 73(3):319-343

Jones GV, Duchene E, Tomasi D, Yuste J, Braslavskaa O, Schultz H, Martinez C, Boso S, Langellier F, Perruchot C, Guimbertau G 2005b *Changes in European Winegrape Phenology and Relationships with Climate*. *GESCO* 2005

Jones GV 2006. *Climate and terroir: impacts of climate variability and change on wine*. In "Fine Wine and Terroir - The Geoscience Perspective" RW Macqueen, Meinert LD (eds.), *Geoscience Canada Reprint Series Number 9*, Geological Association of Canada, St. John's, Newfoundland, 247 pp

Jones GV 2007 *Climate Change: Observations, Projections, and General Implications for Viticulture and Wine Production*. *Congress on Climate and Viticulture*, April 10-14, 2007, Zaragoza, Spain

Kenneth N. P., Williams J.R. 1994 *Predicting Daily Mean Soil Temperature in the EPIC Simulation Model*. *Agron. J.* 86:1006-1011

- Kohli, M.M. & McMahon, M.A. 1988. A perspective of research needs for non-irrigated tropical countries. In A.R. Klatt, ed. Wheat production constraints in tropical environments. Mexico, DF, CIMMYT
- Kroes GC, van Dam JC (eds) 2003 Reference Manual SWAP version 3.0.3. Alterra-repport 773. Alterra, Green World Research, Wageningen (The Netherlands)
- Lane BG., 1991. Cellular desiccation and hydration developmentally regulated proteins and the maturation and germination of seeds embryos. *FASEB J* vol.5:2893-901.
- Liu HS and Feng Min Li, 2005 Root respiration, photosynthesis and grain yield of two spring wheat in response to soil drying, *Plant growth regulation*, 46, 233-240
- Mathews KL, Chapman SC, Trethowan R, Pfeiffer W, van Ginkel M, Crossa J, Payne T, DeLacy I, Fox PN, Cooper M 2007 Global adaptation patterns of Australian and CIMMYT spring bread wheat. *Theor Appl Genet*, 115:819-835
- Morgan J.A.1992 Drought stress in winter wheat: mechanisms and strategies USDA-ARS Rangeland Resources Research Unit F. Collin, CO Wheat Technology Conference
- Mums R 2007 Utilizing genetic resources to enhance productivity of salt-prone land. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 2007 2, No. 009 <http://www.cababstractsplus.org/cabreviews>
- Orgaz F., Fereres E. 1998 Riego. In "El cultivo del olivo" Ed Mundi Prensa p. 261-280
- Oweis, T. Hachum A. 2006. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in West Asia and North Africa *Agric. Water Manag.* Vol. 80: 57-73.
- Parton, W.J. 1984 Predicting soil temperature in a shortgrass steppe. *Soil Sci.* 138:93-101
- Passioura, J. 2007. The drought environment: physical, biological and agricultural perspectives. *J. Exper. Botany, Integrated Approaches to Sustain and Improve Plant Production under Drought Stress Special Issue* Vol. 58, No. 2: 113-117
- Perini L., Beltrano M.C., Dal Monte G., Esposito S., Caruso T., Motisi T., Marra F.P., Ceccarelli T., 2004. *Atlante Agroclimatico. Agroclimatologia, pedologia, fenologia del territorio italiano. Vers.1.0.* UCEA, Roma. Pp64.
- Priestley, C.H.B., Taylor, R.J., 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. *Mon. Weath. Rev.* 100, 81-92
- Qadir, M., B.R. Sharma, A. Bruggeman, R. Choukr-Allah & F. Karajeh. 2007. Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries. *Agricultural water management* 87, 2-22
- Ragab, R. and C. Prudhomme. 2002. Climate change and water resources management in arid and semi arid regions: prospective and challenges for the 21st century. *J. of Biosystems Engineering* . 81: 3-34.
- Rajaram S., Braun H.J., Van Ginkel, M. 1996 CIMMYT's approach to breed for drought tolerance *Euphytica*, vol.92:147-153
- Reynolds, W.D., and D.E. Elrick. 2002. The soil solution phase. Falling head soil core (tank) method. In J.H. Dane and G.C. Topp (eds) *Methods of soil analysis. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI, USA.*
- Rodriguez JM et al 2005 Main conclusions from the Preliminary Assessment of the Impacts in Spain due to the Effects of Climate Change. Project ECCE, Ministry of the Environment and the University of Castilla-La Mancha. 39 pp.
- Ross, P.J., Bristow, K.L., 1990. Simulating water movement in layered and gradational soils using the Kirchhoff transform. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 1519-1524
- Sayed, J. 1985. Diversity of salt tolerance in a germplasm collection of wheat (*Triticum aestivum*). *Theor. Appl. Genet.* 69:651-657.
- Skylas, D.J., Cordwell, S.J., Hains, P.G., Larsen, M.R., Basseal, D.J., Walsh, B.J., Blumenthal, C., Rathmell, W., Copeland, L., Wrigley, C.W., 2002. Heat shock of wheat during grain filling: Proteins associated with heat tolerance.. *J. Cereal Sci.* vol.35, 175-188.
- Stöckle, C.O., Bellocchi, G., Nelson, R.L., 1998. Evaluation of the weather generator ClimGen for several world locations. *Proceedings Seventh International Congress for Computer Technology in Agriculture*, Florence, Italy, 15-18 November 1998, pp. 34-41.
- Stöckle CO, Donatelli M, Nelson R 2003 CropSys, a cropping system simulation model *Europ. J. Agronomy* 18, 289-307
- Tamari, S., L. Bruckler, J. Halbertsma, and J. Chadoeuf. 1993. A simple method for determining soil hydraulic properties in the laboratory. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:642-651
- Tognetti, R., Costagli, G., Minnocci, A., Gucci, R., 2002. Stomatal behaviour and water use efficiency in two cultivars of *Olea europaea* L. *Agr. Med.* 132, 90-97
- Tognetti, R., R. d'Andria, A. Lavini, G. Morelli. 2006. The effect of deficit irrigation on crop yield and vegetative development of *Olea europaea* L. (cvs. Frantoio and Leccino) *Europ. J. Agronomy* 25 (2006) 356-364
- Turner, N.C. 2004a. Sustainable production of crops and pastures under drought in a Mediterranean environment. *Ann. Appl. Biol.*, 144:139-147
- Turner, N.C. 2004b. Agronomic options for improving rainfall-use efficiency of crops in dryland farming systems. *J. Exper. Botany*, Vol. 55, No. 407, *Water-Saving Agriculture Special Issue*.: 2413-2425
- Van Leeuwen C, Bois B, Pieri P, Gaudillere, JP 2007 Climate as a terroir component. *Congress on Climate and Viticulture*, April 10-14, 2007, Zaragoza, Spain
- Xiloyannis C, Gucci R, Dichio B, 2003. Irrigazione. In: *Olea, Trattato di Olivicoltura*, P Fiorino editor, Edagricole, pp 365-389



Massimo Menenti