

CLIMESCO: EVOLUZIONE DEI SISTEMI COLTURALI A SEGUITO DI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Domenico Ventrella

CRA-Unità di ricerca per i Sistemi Colturali degli ambienti caldo-aridi - Bari (domenico.ventrella@entecra.it)

1. INTRODUZIONE

I cambiamenti climatici previsti per questo secolo potranno modificare intensamente l'agricoltura inducendo importanti trasformazioni legate essenzialmente ad effetti sulla fenologia delle specie, sui processi fotosintetici e sul fabbisogno evapotraspirativo, eTc.

Anomali incrementi termici, brusche variazioni della distribuzione delle precipitazioni, maggiore frequenza ed intensità di siccità da una parte e di inondazioni dall'altra stanno già manifestando i loro effetti sulle risposte produttive e qualitative dei sistemi colturali. Se è acclarato che questa tendenza si manifesta in molte aree del pianeta è altrettanto vero che le aree mediterranee possono essere caratterizzate da un grado di vulnerabilità particolarmente elevato.

L'attività agricola può essere considerata al tempo stesso vittima, ma anche partecipe del cambiamento climatico a causa di pratiche agronomiche non sostenibili che incidono in maniera sensibile all'emissione di CO₂ o di altri gas serra nell'atmosfera. D'altro canto, grazie ai processi fotosintetici delle piante di trasformazione della CO₂ in biomassa e ai meccanismi di accumulo della sostanza organica nel suolo, l'attività agricola rappresenta un'opportunità fondamentale di mitigazione dei cambiamenti climatici. Le strategie che possono contribuire a questo obiettivo tendono ad incrementare la sostanza organica del suolo e si basano sulla riduzione delle lavorazioni (sia come profondità che come frequenza), su avvicendamenti colturali più lunghi e complessi e su una gestione più accorta dei residui colturali. Il sequestro del carbonio nella biomassa delle colture erbacee o arboree e la stessa produzione di biomassa da utilizzare a scopi energetici in sostituzione dei combustibili fossili, rappresentano le altre due opportunità offerte dall'attività agricola.

Parallelamente ad azioni di mitigazione è necessario pianificare ed attuare percorsi di adattamento che mirino a ridurre gli eventuali impatti negativi. Nel settore agricolo i principali strumenti di adattamento riguardano: l'uso del suolo, la scelta colturale, l'epoca di semina o di trapianto, l'ottimizza-

zione della fertilizzazione, le lavorazioni per la riduzione della perdite idriche per evaporazione. Nelle aree mediterranee l'agricoltura dei prossimi decenni dovrebbe caratterizzarsi per un ulteriore incremento delle richieste evapotraspirative e quindi dei fabbisogni idrici. Questo incremento unitamente ad una probabile più elevata competizione per le risorse idriche con il settore civile ed industriale renderanno auspicabili strategie di adattamento che dovranno basarsi sulla massimizzazione dell'efficienza d'uso dell'acqua. Gli interventi potranno consistere in una più ampia diffusione dei metodi irrigui localizzati, in una programmazione irrigua più precisa basata sul controllo dello stato idrico del suolo o della pianta, nella copertura del suolo con mulch di tipo vegetale o sintetico per contenere l'evaporazione e in un maggiore utilizzo di acque salmastre o comunque di qualità inferiore. Al tempo stesso è probabile una maggiore diffusione dell'irrigazione di soccorso per colture attualmente non irrigate a semina autunnale e che le risorse idriche siano riservate a colture ad alto reddito. In questo quadro di riferimento è attualmente ineludibile la decisione "politica" della modalità di pagamento dell'acqua irrigua che non può che basarsi sui volumi effettivamente utilizzati e non sulla superficie irrigata, sistema quest'ultimo ancora praticato in diverse aree del Paese.

Le regioni meridionali sono notoriamente caratterizzate da elevata domanda evapotraspirometrica e limitata disponibilità di risorse irrigue di buona qualità, ma, al tempo stesso, sono potenzialmente in grado di qualificarsi per attività agricole ad alto valore aggiunto. Queste caratteristiche rendono le aree agricole meridionali particolarmente indicate per studi riguardanti l'impatto della variabilità climatica sull'attività agricola e l'ottimizzazione delle risorse idriche su scala territoriale. La disponibilità di acque irrigue salmastre in alcune aree delle regioni meridionali, se da un lato è da considerarsi un'importante opportunità per l'irrigazione delle colture, dall'altro richiede precise esigenze di approfondimenti agronomici volti ad impedire l'instaurarsi di processi degenerativi, in parte irreversibili, a danno della fertilità del suolo.



2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il Progetto CLIMESCO intende individuare un approccio integrato, volto alla ottimizzazione delle risorse idriche in comprensori meridionali caratterizzati da sistemi colturali irrigui ad alto valore aggiunto, che possa essere utile alle autorità preposte alla pianificazione territoriale. L'ottimizzazione della risorsa "acqua" riguarda l'individuazione di itinerari agronomici capaci di garantire sufficienti livelli produttivi, minimizzando l'impiego della risorsa idrica e i rischi di inquinamento ambientale con riferimento particolare al suolo ed ai corpi idrici sotterranei. Tale ottimizzazione è perseguita attraverso un approccio metodologico di variabilità spaziale, per caratterizzare i parametri di natura pedologica, climatica ed agronomica. Essa è sviluppata su fasi temporali sufficientemente lunghe, in cui gli andamenti climatici "probabili" rappresentano gli elementi fondamentali di ben individuati scenari futuri.

Coordinato dall'Unità di Ricerca del CRA "per i sistemi colturali degli ambienti caldo-aridi" di Bari, CLIMESCO vede coinvolte altre 5 Unità Operative e 6 Sub-Unità (Tabb. 1 e 2). Esso si basa sull'impiego propedeutico di differenti strumenti di analisi che riguardano lo studio della variabilità spaziale e climatica, la simulazione di scenari climatici e l'impiego della modellistica per la simulazione dei processi di accrescimento culturale e dei bilanci idrici e salini dei suoli. Tali strumenti di analisi rappresentano quanto di più avanzato la comunità scientifica internazionale è in grado di offrire, sia per quanto riguarda le possibilità applicative che la loro adeguatezza alle attuali conoscenze nei vari settori scientifici coinvolti.

Il progetto (Fig. 1) è sviluppato preliminarmente lungo un percorso basato sulla caratterizzazione

pedo-climatica e sulla individuazione di aree agro-ambientali omogenee (Linea 1) nelle regioni di Sicilia e Puglia. L'individuazione nel territorio di aree omogenee dal punto di vista pedo-climatico permette di definire una potenziale "offerta" di risorse messe a disposizione per le varie colture che, a loro volta, rappresentano la "domanda" potenziale. Questo rapporto tra domanda di risorse agro-ambientali da parte delle colture e disponibilità di esse, all'interno di ogni singola area omogenea, è approfondito e sviluppato attraverso l'impiego dei modelli di simulazione, sia nella situazione climatica attuale che entro possibili scenari futuri.

Il secondo passaggio è, allora, quello di simulare gli andamenti climatici dei prossimi decenni nelle aree oggetto di indagine. Tale obiettivo (Linea 2) è perseguito attraverso tecniche di regionalizzazione di scenari climatici globali, operate dai cosiddetti Global Climate Models mediante approcci di tipo sia statistico che dinamico.

Le attività descritte nella Linea 3 rappresentano importanti approfondimenti tematici, aventi l'obiettivo di migliorare le conoscenze e i risvolti applicativi su singoli aspetti, ritenuti strategicamente importanti nelle aree in studio. Essi riguardano l'impiego di acque salmastre, i fabbisogni irrigui dei sistemi colturali, la programmazione irrigua e la determinazione dei parametri fisico-idraulici del suolo. Congiuntamente, tali attività avranno anche l'obiettivo di fornire data-set completi riguardanti la coltura, il suolo e la gestione agronomica, indispensabili per la calibrazione e la validazione puntuale dei modelli di simulazione che caratterizzeranno le attività della linea 4.

I modelli proposti rispondono alle esigenze di simulare adeguatamente i processi di accrescimento delle colture e i flussi più importanti per la caratterizzazione dei bilanci idrici e salini. Alcuni di essi già prevedono la possibilità di essere impiegati su scala di bacino, in altri casi sarà necessario valutare ed impiegare vari approcci per poter operare il passaggio dalla scala puntuale a quella territoriale.

La definizione di scenari agro-climatici, l'analisi di impatto che tali condizioni potranno avere sui sistemi colturali attualmente caratterizzanti le aree di indagine e la definizione di interventi agro-

Coordinamento: CRA – Unità di ricerca per i sistemi colturali degli ambienti caldo-aridi di Bari (CRA-SCA)
Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali – Università di Bari (UNI-BA)
CNR - Istituto di Scienze dell'atmosfera e del Clima – Sezione di Lecce (CNR-LE)
Dipartimento di Ingegneria e Tecnologie Agro-forestali - Università di Palermo (UNI-PA)
Dipartimento di Produzione Vegetale – Università di Potenza (UNI-PZ)
Dipartimento di Scienze Agro-ambientali, Chimica e Difesa Vegetale - Università di Foggia (UNI-FG)

Tabella 1 - Le Unità Operative del Progetto

Dipartimento di Produzione Vegetale – Università Di Milano (UNI-MI)
Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali - Università di Bologna (UNI-BO)
Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali - Università di Lecce (UNI-LE)
Dipartimento di Agronomia, Coltivazioni Erbacee e Pedologia - Università di Palermo (UNI-PA/AG)
CRA-Centro di ricerca per la cerealicoltura (Foggia) (CRA-CER)
CNR-Istituto di Scienze delle Produzioni Alimentari - Bari (CNR-BA)

Tabella 2 - Le Sub-Unità del Progetto



nomici correttivi per conservare o eventualmente accrescere la loro sostenibilità saranno le fasi finali che caratterizzeranno la Linea 4 e l'intero Progetto.

I sistemi colturali saranno valutati sulla base di indicatori agro-ambientali, calcolati attraverso l'impiego dei modelli matematici e si baseranno su parametri colturali (resa, harvest index, traspirazione), collegati ai bilanci idrici e salini del suolo (evaporazione, runoff, drenaggio profondo, grado di salinizzazione). Per "scenario" si intende un complesso di condizioni esterne al sistema suolo/pianta, di natura climatica o di disponibilità di acqua irrigua. I periodi presi in considerazione saranno quelli passati o futuri. Nel caso degli scenari futuri, i dati saranno generati attraverso l'impiego di modelli deterministici con due obiettivi:

- generare una variabilità climatica sufficientemente lunga per valutare la sostenibilità dei sistemi colturali nei decenni futuri;
- valutare l'instaurarsi di eventuali trend, che possano rendere necessari interventi agronomici correttivi rispetto agli standard attuali.

Nell'ambito di scenari opportunamente definiti per ogni area, l'ottimizzazione delle risorse idriche sarà perseguita agendo contemporaneamente su scala aziendale e territoriale. Nel primo caso, saranno individuati gli itinerari agronomici che consentono una massimizzazione della produttività marginale dell'acqua irrigua, agendo prevalentemente su alcune pratiche agronomiche quali, la scelta colturale, l'epoca di semina/trapianto, il metodo e la pro-

grammazione irrigua. Per alcune aree, specie quelle costiere, le pratiche agronomiche riguarderanno l'uso congiunto di acque di diversa qualità, in funzione delle caratteristiche fisiologiche e fenologiche della specie vegetale, delle caratteristiche chimiche delle acque e del suolo. Sempre nell'ambito di questo impiego, di grande rilevanza sarà la ottimizzazione della tecnica del leaching, la cui efficacia varia in funzione delle caratteristiche fisico-chimiche del suolo, del momento in cui viene effettuata, del tipo e dei volumi di acqua impiegata.

Su scala di comprensorio, l'impiego dei modelli di tipo distribuito consentirà di caratterizzare spazialmente i territori interessati, per attitudine produttiva, fabbisogni irrigui e suscettibilità a fenomeni legati eventualmente al ruscellamento superficiale e al drenaggio profondo. Ciò avrà un impatto notevole sull'efficacia di programmazione degli enti proposti all'erogazione delle risorse idriche e sulla pianificazione di interventi volti ad accrescere o a conservare la sostenibilità dell'attività agricola nei prossimi decenni.

3. LINEA 1: INDIVIDUAZIONE DI AREE AGRO-AMBIENTALI OMOGENEE

(RESPONSABILE: DOTT.SSA A. CASTRIGNANÒ)

Nell'ambito delle aree opportunamente definite, ricadenti nelle regioni Puglia e Sicilia, sono acquisiti dati utili e informazioni per la loro caratterizzazione agronomica e pedoclimatica. Il lavoro si svolge con le seguenti fasi: costruzione di database per la caratterizzazione agroambientale, comprendente le carat-

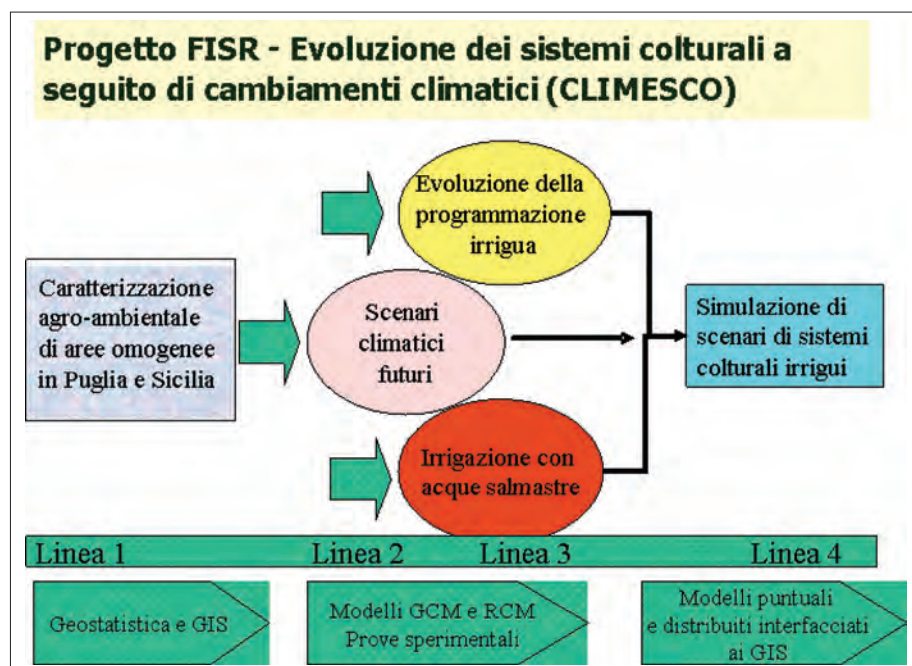


Figura 1 – Schema delle principali tematiche sviluppate nel Progetto CLIMESCO



teristiche dei suoli (proprietà fisiche, chimiche e idrologiche), climatiche (medie pluriennali) e agronomiche (land use, sistemi colturali e pratiche agronomiche prevalenti) nelle aree di studio; georeferenziazione dei dati; correzione preliminare dei dati per la presenza di outliers e loro omogeneizzazione da fonti diverse. I dati sono sottoposti a test statistici per verificare l'omogeneità della varianza relativa alle diverse fonti di provenienza. Poiché la varianza del dato è funzione, oltre che della fonte di origine anche della dispersione spaziale (nell'eventualità di presenza di aree geografiche diverse), i test vengono ripetuti, procedendo ad ulteriori suddivisioni delle aree in esame in classi caratterizzate da una stessa combinazione. La stima di tale varianza è introdotta come informazione ausiliaria, nella successiva fase d'interpolazione per la produzione di mappe tematiche. I dati così acquisiti sono archiviati in ambiente GIS.

Dal punto di vista climatico la prima attività è stata quella del recupero dei dati agro-meteorologici e dell'analisi dei sensori (meccanici e/o automatici) utilizzati per la loro acquisizione, al fine di stabilire le caratteristiche metrologiche degli stessi per una precisa e dettagliata definizione dell'errore sperimentale commesso nelle misure.

In una prima fase, le medie a lungo termine delle variabili climatologiche (valori mensili di temperatura e precipitazione) con le loro varianze, relative ad un sufficiente numero di anni variabile per ciascuna stazione, sono sottoposte a test preliminari di qualità e di omogeneità. Questi controlli statistici fanno riferimento sia al clima della zona interessata, sia ai dati misurati nei giorni precedenti, sia alle misure effettuate nelle stazioni limitrofe. In sintesi, i controlli riguardano: la variabilità interannuale (clima); la persistenza temporale (dati rilevati nei giorni precedenti) e la consistenza spaziale (dati rilevati nelle stazioni limitrofe).

Lo studio climatologico delle serie storiche si basa sull'analisi di Fourier.

I dati presi in considerazione riguardano: temperatura e umidità dell'aria, pioggia, radiazione solare ed evapotraspirazione di riferimento, calcolata con il modello di Penman-Monteith ove possibile, altrimenti con il modello di Hargreaves.

I dati eventualmente corretti ed interpolati, al fine di integrare quelli mancanti, sono sottoposti ad analisi geostatistica per la loro spazializzazione e restituzione in formato griglia.

L'elaborazione dei dati secondo tecniche univariate e multivariate ha come obiettivo principale la

produzione di mappe dei singoli parametri, delle classi ambientali e di rischio.

Relativamente all'interpolazione di quei parametri che mostreranno un alto grado di continuità, si applicano tecniche multivariate (cokriging), mentre per quelli poco correlati con le altre variabili si useranno tecniche univariate.

Al fine di operare una sintesi dei numerosi dati interpolati che saranno prodotti, si sta procedendo ad una loro classificazione in aree omogenee secondo due criteri concomitanti: il primo basato sulle correlazioni statistiche fra le diverse variabili, ovvero sul loro grado di "similarità"; il secondo, sul livello di "contiguità" spaziale dei campioni. L'adozione di quest'ultimo criterio, che rappresenta un approccio originale rispetto alle comuni tecniche di clustering, si rende indispensabile al fine di evitare l'eccessiva frammentarietà spaziale.

4. LINEA 2: CAMBIAMENTI CLIMATICI

(RESPONSABILE: DOTT. M. MIGLIETTA)

La simulazione del clima sulla regione d'interesse per il progetto è un tipico problema di *regionalizzazione* di scenari climatici globali, ossia di simulazioni effettuate da GCM, Global Climate Models. La risoluzione correntemente utilizzata per simulazioni climatiche su scala globale non consente una definizione della morfologia dei bacini che compongono il Mediterraneo e dell'orografia che lo circonda. L'estrazione di informazioni su variabili importanti dal punto di vista ambientale, quali temperatura, venti e precipitazioni, richiede sulla regione Mediterranea, caratterizzata da una grande variabilità spaziale, necessariamente una rielaborazione complessa delle informazioni derivate da simulazioni globali, ossia la loro regionalizzazione.

Gli approcci alla regionalizzazione sono di tipo dinamico e statistico. I primi consistono in metodi per aumentare la risoluzione nella regione analizzata mediante griglie globali a passo variabile che si infittiscono nella regione considerata, o mediante griglie regionali annidate in griglie globali da cui estraggono le condizioni al contorno (RCM, Regional Climate Models).

L'aumento della risoluzione consente sicuramente una migliore definizione dell'orografia e della differenziazione fra terra e mare, che implica la presenza, nelle simulazioni degli RCM, di strutture regionali assenti in quelle dei GCM, ed un miglioramento della descrizione dell'effetto dell'orografia su precipitazione e ciclogenesi.

Le *incertezze* sulla previsione e simulazione del



clima a scala regionale sono comuni a tutte le regioni della Terra, ma il Mediterraneo rappresenta una delle regioni dove esse sono più ridotte. Nelle simulazioni di cambiamento di clima di origine antropica nel Mediterraneo i modelli tendono a concordare in un aumento della temperatura maggiore dell'aumento medio globale ed una modesta (ed in parte controversa) diminuzione della precipitazione.

Nonostante i suoi limiti, il metodo dinamico di regionalizzazione rappresenta lo strumento principale per convertire le leggi della fisica in descrizioni quantitative del clima, della sua variabilità e delle sue tendenze ed i progressi dei modelli del clima negli ultimi anni mostrano la loro crescente capacità di produrre risultati realistici.

Il MIAO (Model of Interacting Atmosphere and Ocean) è il modello trimodulare (atmosfera-onde-oceano) del sistema accoppiato atmosfera-oceano che viene utilizzato nel progetto. Esso è utilizzato dai ricercatori dell'Osservatorio di Fisica e Chimica dell'Ambiente, Università di Lecce.

L'approccio di tipo statistico si basa sull'identificazione di correlazioni statistiche fra variabili a grande scala e variabili locali, che possono essere utilizzate per regionalizzare scenari prodotti a bassa risoluzione su scala globale. La loro affidabilità può essere verificata confrontando simulazioni del clima presente con osservazioni non utilizzate per la costruzione della correlazione statistica, ma la loro applicazione a scenari climatici futuri si basa sull'ipotesi, ragionevole, ma non verificabile, che, in un clima modificato, le relazioni statistiche fra variabili globali e regionali non varino e che le variabili globali selezionate rimangano validi predittori.

Numerose serie strumentali italiane sono state analizzate e rivelano una tendenza, seppure non regolare, all'aumento della temperatura media in Italia durante gli ultimi 50 anni, maggiore a Sud che a Nord e più evidente in inverno che in estate, con valori confrontabili (sebbene leggermente superiori) a quelli osservati su scala globale. La precipitazione mostra una tendenza alla diminuzione, più significativa al Sud, con una riduzione di circa il 10% in 100 anni, accompagnata da un aumento dell'intensità dei singoli eventi soprattutto nel Nord Italia.

Fondamentalmente gli obiettivi dell'approccio dinamico-modellistico sono i seguenti:

- messa in opera del sistema modellistico MIAO;
- utilizzo dei dati di rianalisi forniti dall'ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecasts, UK) al fine di testare il sistema model-

listico MIAO. Tali dati verranno utilizzati come condizioni al contorno in simulazioni che consentiranno di ottenere degli scenari climatologici relativi ad anni passati, consentendo pertanto una validazione del modello sul database disponibile. Le simulazioni verranno realizzate su due griglie, di cui la più interna, collocata sulla regione d'interesse per il progetto, avrà una risoluzione di 50 km;

- applicazione del sistema modellistico e del downscaling statistico per ottenere scenari climatologici futuri su scala regionale, relativi ad un intervallo temporale di alcuni decenni.

5. LINEA 3: OTTIMIZZAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE

(RESPONSABILE: PROF. A. CALIANDRO)

Le attività previste in questa linea si sviluppano in otto ricerche di seguito descritte

1) *Strategie di gestione dell'irrigazione con acque saline* (UNI-PA)

Nel bacino del Delia-Nivolelli (TP), per il quale si dispone di dati relativi al suolo, alla qualità delle acque ed alle caratteristiche idrologiche, si sono individuate parcelle coltivate a vite nelle quali sono attuate diverse strategie di somministrazione di acque saline che prevedono l'alternanza di acque di diversa salinità (conducibilità elettrica). Le parcelle sono attrezzate con sonde TDR per la misura dell'umidità, l'evoluzione della salinità è monitorata attraverso misure dirette della conducibilità elettrica dell'estratto saturo (ECs) e rilievi con conduttivimetro EM-38 (Geonics). Si effettueranno, inoltre, misure di stabilità degli aggregati con il metodo del setacciamento in acqua su campioni prelevati nelle suddette parcelle e misure di conducibilità idrica in pieno campo utilizzando il tensioinfiltrometro.

2) *Dinamica della concentrazione salina lungo il profilo del suolo e valutazione della capacità liscivante delle piogge* (UNI-FG)

La sperimentazione è condotta in ambiente protetto. E' impostato un sistema di coltivazione in cui il frumento duro è avvicendato al pomodoro; ciò consente di apportare sali al terreno nel corso della stagione estiva, a seguito degli interventi irrigui realizzati durante la coltivazione del pomodoro (impiegando allo scopo acque a differenti livelli di conducibilità: 0, 4 e 6 dS m⁻¹) e di simulare l'azione svolta dai regimi pluviometrici più frequenti in Capitanata nel corso della coltivazione del frumento. Sensori TDR consentono di misurare sia l'umidità volumetrica che la conducibilità totale del suolo (*bulk soil*



EC). Sono redatti i bilanci dei sali in corrispondenza dei differenti strati del suolo. Prima e dopo le coltivazioni, sono eseguite valutazioni della permeabilità dei terreni tramite infiltrometro a tensione e, su campioni estratti lungo il profilo è determinata la conducibilità elettrica dell'estratto di pasta satura (ECe).

3) *Verifica del fabbisogno di lisciviazione e del drenaggio nella gestione irrigua di terreni suscettibili alla salinità (UNI-FG)*

L'obiettivo della ricerca è quello di contribuire alla definizione dei criteri per una corretta gestione della tecnica irrigua nel contesto pedo-climatico del Tavoliere dove l'irrigazione con acqua salmastra è pratica diffusa e frequente. La sperimentazione verrà condotta, per tre annate consecutive, su colture di pomodoro, frumento e spinacio (in alternativa: cavolo broccolo od altra coltura autunno-invernale), allevate secondo le ordinarie tecniche colturali.

In corrispondenza di ciascuna parcella sperimentale è stata scavata una trincea profonda 0,70 m è stata completamente impermeabilizzata disponendo lungo le pareti ed il fondo un telo di materiale plastico. Sei tubi drenanti, dislocati longitudinalmente in due gruppi di tre al fondo di ogni trincea, consentono l'intercettazione delle acque di drenaggio. Il sistema prevede anche la raccolta delle acque di drenaggio che viene effettuata dopo ogni intervento di lisciviazione e dopo ogni evento piovoso. Il recupero di queste acque, la misura periodica del loro volume e della loro conducibilità elettrica potrà consentire l'esecuzione del bilancio idrico-salino.

I trattamenti posti a confronto prevedono irrigazioni con acqua salmastra ($EC_w = 4,5 \text{ dS m}^{-1}$) con e senza interventi liscivianti e alternanza di acqua di diversa salinità.

4) *Effetti dello stress idrico e salino sulla produzione quanti-qualitativa di due colture tipiche dell'area metapontina ed evoluzione dei parametri fisico-chimici del suolo (CRA-SSC/SCA)*

La ricerca è realizzata presso un'azienda privata del Metapontino su terreno argilloso. La ricerca prevede le coltivazioni di pomodoro e cereale primaverile sottoposte a quattro trattamenti irrigui: ripristino del 70 e 100% dell'evapotraspirazione massima (ETc), calcolata a partire dai valori misurati di evaporato da vasca di classe A, utilizzando acqua dolce ($0,8 \text{ dS m}^{-1}$) e acqua salmastra (6 dS m^{-1}). Periodicamente vengono prelevati campioni di terreno per la determinazione della conducibilità elettrica e della concentrazione dei principali anioni e cationi della soluzione circolante. L'evoluzione dell'umidità del

terreno è seguita mediante l'apparecchiatura TDR. Nel corso della coltivazione viene effettuata l'analisi di crescita delle piante, determinando l'accumulo di sostanza secca e lo sviluppo della superficie fogliare. Inoltre, sono effettuati ulteriori approfondimenti delle condizioni fisiche e chimiche del terreno (potenziale matriciale, concentrazione salina della soluzione circolante e velocità di infiltrazione).

5) *Effetti della salinità sulle variabili irrigue (UNI-FG/CNR-ISPAA)*

Nell'ambito di questa attività sono realizzate prove sperimentali su colture ortive per valutare il consumo idrico, il limite di intervento e il volume irriguo ottimale in relazione a pratiche agronomiche che possano contenere i consumi traspirativi delle piante senza pregiudicare i livelli produttivi mediante copertura di caolino. Durante il ciclo produttivo sono monitorati i parametri caratterizzanti la fisiologia e l'accrescimento: fotosintesi, traspirazione, potenziali idrici ed osmotici, fasi fenologiche, LAI, biomassa. Sono inoltre considerati i caratteri quali-quantitativi del prodotto: numero, peso e pezzatura; frutti con marciume apicale e con spaccature, contenuto in zuccheri, acidità, sostanza secca, vitamina C e antiossidanti nel pomodoro; capolini atrofici, fibrosità, contenuto in inulina e polifenoli nel carciofo; idoneità alla trasformazione industriale.

6) *Sistemi colturali e fabbisogni idrici (CRA-SCA)*

Le prove di campo sono attuate presso l'azienda sperimentale del CRA a Rutigliano, in zona carsica. I suoli dell'azienda sono di tipo argilloso, con modesta dotazione di azoto e sostanza organica, ma con ottima struttura il che facilita lo sgrondo delle acque in eccesso. Il franco di coltivazione è contenuto in un metro dalla superficie per la presenza di roccia fessurata.

La ricerca agronomica è realizzata in appezzamenti attrezzati con il simulatore di pioggia e lo "shelter anti-pioggia" e prevede la coltivazione di specie a ciclo autunno-vernino (ad esempio frumento duro) e primaverile.

Le colture a semina autunnale sono realizzate sotto lo shelter antipioggia realizzato con materiale ad alta trasparenza (EVA) a 3 metri di altezza dalla superficie del suolo. Per ogni specie si considerano 3 recenti varietà appositamente selezionate per la resistenza alla aridità negli ambienti semi-aridi della regione Mediterranea. Lo stesso disegno sperimentale è realizzato al di fuori dello schermo anti-pioggia. Le colture sotto lo shelter beneficeranno di interventi irrigui che simuleranno le piogge. Ad ogni



evento piovoso, sotto lo schermo saranno simulate precipitazioni ridotte. Nel triennio le colture ruoteranno all'interno del dispositivo sperimentale. Il dispositivo sperimentale della coltura solanacea è realizzato in pieno campo. Oltre che dagli eventi piovosi naturali, l'alimentazione idrica delle colture è assicurata da un simulatore di pioggia che copre l'intero dispositivo sperimentale e che permette di integrare le perdite per evapotraspirazione con aspersioni a bassa ed elevata intensità. Sono sottoposte a confronto 3 tipi di coltura: da piantina trapiantata (tradizionale), da semina diretta e da piante innestate.

7) *Evoluzione dei coefficienti e delle resistenze colturali in relazione ai cambiamenti climatici* (UNIBAS)

La ricerca riguarda lo studio dei coefficienti colturali e delle resistenze colturali in relazione ai cambiamenti climatici e si avvale di misure agrometeorologiche e di stazioni lisimetriche sui cui vengono allestiti campi sperimentali.

Dal punto di vista metodologico la ricerca si basa su un confronto tra una situazione attuale ed uno scenario climatico futuro mediante due approcci: uno di tipo simulativo ed uno più propriamente di tipo sperimentale.

Nel primo caso, dopo avere individuato uno scenario climatico medio passato (ultimo trentennio), attuale e futuro (sulla base delle indicazioni fornite dalla linea di ricerca che nell'ambito del presente progetto studia le condizioni climatiche previste per il futuro), si valuta l'effetto di differenti scenari climatici sulla fenologia delle colture di un avvicendamento tipico dell'area del mediterraneo meridionale (pomodoro-cavolo broccolo-frumento duro). In particolare è valutato come, nei differenti scenari climatici, si modifica la fenologia per effetto delle somme termiche delle colture dell'avvicendamento considerato. L'approccio di tipo sperimentale prevede, invece, l'esecuzione di una prova in ambiente controllato e in camere di crescita in cui sono imposte differenti condizioni climatiche (differente Umidità Relativa, Temperatura), al fine di valutarne l'effetto sui consumi idrici ed irrigui delle colture studiate.

8) *Approfondimento delle procedure di valutazione dei parametri idrologici del suolo normalmente richiesti dai modelli del bilancio idrico* (UNIBA/UNIBO)

L'obiettivo di questa attività è di approfondire le procedure di valutazione dei parametri idrologici del suolo richiesti dai modelli del bilancio idrico. Su diversi tipi di suolo si determina: la massa volumica

apparente, ρ_{app} (con i metodi della buca e dei cilindretti metallici) e l'umidità (metodo gravimetrico); la curva di ritenzione idrica, $\psi_{(w)}$, e la capacità idrica di campo, CIC (metodo dell'aiuola arginata); la variazione della profondità del pelo libero della falda, se questa non è più profonda di 2 m.

Su tutti i terreni sono state effettuate: l'analisi granulometrica, le principali analisi chimiche, la curva di contrazione con determinazioni edometriche e tensiometriche, la caratterizzazione sotto l'aspetto delle proprietà meccaniche (indici di Atterberg, compattabilità, resistenza al taglio, indice COLE), verificando in alcuni casi rappresentativi l'eventuale alterazione di queste proprietà indotte dalla sodicizzazione, come può derivare da irrigazioni con acque salmastre.

6. LINEA 4: SIMULAZIONE DI SCENARI COLTURALI

(RESPONSABILE: DOTT. D. VENTRELLA)

L'ultima linea del progetto si sviluppa essenzialmente nelle seguenti 3 attività:

1) *Calibrazione e validazione dei modelli a scala puntuale* (CRA-SCA)

È stato effettuato uno screening tra i modelli colturali esistenti, in grado di simulare a passo temporale giornaliero, a scala sia puntuale che comprensoriale, i principali sistemi colturali delle aree in studio. Allo stato attuale delle conoscenze, i modelli che meglio hanno risposto allo scopo e che hanno già implementati dei collegamenti a GIS sono DSSAT, CropSyst ed EPIC, su alcuni dei quali si ha già una discreta esperienza. Il modello SWAP, che è un modello fisicamente basato per il bilancio idrico e il trasporto dei sali, sarà valutato per l'ottimizzazione dell'uso delle acque salmastre. Nella fase di calibrazione si utilizzano data set sperimentali esistenti o quelli derivanti dalla Linea precedente. La calibrazione di SWAP viene effettuata anche in riferimento al trasporto dei soluti. Per la validazione verranno usati data set, diversi da quelli usati per la fase di calibrazione, relativi alle colture costituenti i principali sistemi colturali delle aree oggetto di studio, a diverse annate, ai regimi irrigui e alle epoche di semine fornite dalle unità partecipanti al Progetto. Test statistici saranno effettuati per validare il modello e verificare la sua affidabilità nei diversi ambienti e per le diverse colture.

2) *Adattamento del modello da scala puntuale a scala di comprensorio (up-scaling)* (CRA-SCA/UNI-MI)

L'attività principale sarà quella di interfacciare il



modello ottenuto a scala puntuale con un GIS, in modo che si possano sfruttare tutte le potenzialità informatiche e computazionali di quest'ultimo.

Le basi teoriche di partenza saranno i ben noti modelli DSSAT e CropSyst per gli aspetti legati alle colture. Particolare riferimento sarà fatto alla versione "watershed" del CropSyst, esplicitamente studiato per comprensori, con specifici riferimenti al trattamento dati dei GIS. Per gli approfondimenti legati ai bilanci salini si utilizzerà il modello SWAP.

Dal punto di vista tecnico-scientifico, si tratta di predisporre delle interfacce specifiche per il passaggio, in automatico, dal formato dei dati GIS a quelli del modello.

3) Simulazione di scenari irrigui (CRA-SCA)

L'attività consisterà nella definizione di scenari agro-climatici, nell'analisi di impatto che tali condizioni potranno avere sui sistemi colturali attualmente caratterizzanti le aree di indagine e nella definizione di interventi agronomici correttivi per conservare o, eventualmente, accrescere la loro sostenibilità.

I sistemi colturali saranno valutati sulla base di indicatori agro-ambientali, calcolati attraverso l'impiego dei modelli calibrati e validati prima a scala puntuale e poi a scala territoriale. Gli indicatori semplici e composti deriveranno da parametri colturali (resa, harvest index, traspirazione) e legati ai bilanci idrici e salini del suolo (evaporazione, runoff, drenaggio profondo, grado di salinizzazione).

In questa attività saranno coinvolte tutte le unità operative del progetto, la cui collaborazione sarà indispensabile per la definizione degli scenari agro-climatici, dei sistemi colturali esistenti e nella progettazione di interventi agronomici correttivi per ogni area di indagine. La dettagliata conoscenza del territorio e la collaborazione con associazioni di imprenditori agricoli, servizi di sviluppo ed enti preposti alla distribuzione di acqua irrigua sono condizioni indispensabili per il raggiungimento degli obiettivi di questa attività e dell'intero Progetto.

Per ogni area saranno definiti almeno 4 scenari agro-climatici così schematizzati:

Scenario 0: rappresenterà lo scenario di riferimento, caratterizzante le condizioni "passate" sia per quanto riguarda il clima che la disponibilità di acqua irrigua;

Scenario 1: riguarderà i decenni futuri, caratterizzati dal clima previsto dal modello deterministico della linea 2. In questo scenario la disponibilità di acqua irrigua rimarrà invariata rispetto alle condizioni attuali;

Scenario 2: si distinguerà dal precedente per una riduzione di acqua irrigua disponibile per l'attività agricola. L'entità di tale riduzione sarà diversa per ogni singola area. Altre ipotesi da valutare nell'ambito di questo scenario potranno riguardare eventuali allungamenti delle stagioni irrigue;

Scenario 3: come il precedente, ma la riduzione di acqua irrigua di buona qualità sarà compensata da una pari quantità di acqua salmastra.

4) *Ottimizzazione dell'uso del suolo in condizioni di limitata disponibilità delle risorse idriche, utilizzando modelli di programmazione lineare (UNI-BA)*

Nell'ambito di un'area irrigua della Capitanata, su una superficie rappresentativa e di ampiezza opportuna, saranno individuati e descritti i sistemi colturali esistenti, saranno rilevati dati strutturali e di natura economica utili ai fini della valutazione, in termini assoluti e comparati, della redditività dei sistemi colturali esistenti. Per le colture presenti nell'area in studio, inoltre, saranno assunte informazioni riguardanti le risposte produttive all'irrigazione, riportate in letteratura.

L'allocazione ottimale della risorsa idrica disponibile sarà valutata, previa calibrazione, con modelli di programmazione lineare che permettono di risolvere problemi di ottimizzazione in presenza di vincoli. I modelli saranno realizzati con linguaggio G.A.M.S. (General Algebraic Modelling System).