

## **INCIDENZA DELLE VARIAZIONI CLIMATICHE SULL'IDROGEOLOGIA DELLA PUGLIA**

**Giuseppe C. Calò, Claudia Cherubini, Nicola Lopez, Michele Spizzico  
Valentina Spizzico, Roccaldo Tinelli**

*Politecnico di Bari - Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale*

### **RIASSUNTO**

*L'analisi e le osservazioni dei dati termo-pluviometrici confermano il globale mutamento del clima e il progressivo riscaldamento del pianeta. Questi mutamenti, che dipendono principalmente da cause cosmiche e si evolvono con diversa scala temporale, stanno interessando significativamente tutti i parametri meteorologici: temperatura massima e minima, precipitazioni, nuvolosità, eccetera.*

*Per le Regioni dell'Italia meridionale, i sintomi del mutamento climatico trovano riferimento nella diminuzione delle precipitazioni annuali che sono, sempre più spesso, caratterizzate da piogge di breve durata e forte intensità.*

*Questa particolare evoluzione del regime pluviometrico viene attualmente sentita perché determina evidenze eclatanti sia in aree a più spinta antropizzazione, sia in ambiti meno appariscenti sono già manifesti gli effetti negativi indotti come l'incremento dei fenomeni erosivi e degli incendi boschivi.*

*In particolare sulla risorsa idrica sotterranea regionale, già caratterizzata da delicati equilibri idrogeologici, i minori apporti idrici e i sempre più spinti emungimenti, hanno determinato una riduzione del carico idrico della falda con conseguente aumento del fenomeno dell'intrusione delle acque marine nell'entroterra.*

*La tipologia degli eventi piovosi, brevi ed intensi, e l'antropizzazione del territorio nel favorire il ruscellamento e, a luoghi, gli accumuli superficiali, sta penalizzando le alimentazioni della risorsa idrica. Questo fenomeno che si sta registrando, soprattutto, in corrispondenza delle più importanti zone umide costiere regionali (Le Cesine, Torre Guaceto, etc.) sta determinando la riduzione degli specchi liquidi ed un aumento della salinità delle acque.*

*Queste le problematiche dei mutamenti climatici e della spinta antropizzazione del territorio che si stanno ripercuotendo, principalmente, sull'unica risorsa idrica sotterranea regionale. Per evitare fenomeni degenerativi irreversibili occorre sfruttare questa risorsa con moderazione tenendo conto della necessità, ormai improcrastinabile, di adottare una gestione sana ed equilibrata in perfetta armonia con le caratteristiche potenziali dell'ambiente.*

### **1. PREMESSA**

Che il riscaldamento dell'atmosfera sia un fatto reale è testimoniato dai dati rilevati, negli ultimi anni, in ogni parte del Pianeta, e dagli effetti che gli incrementi di temperatura stanno determinando a livello ambientale.

E' pur vero che il clima sulla terra non è stato mai stabile ma che ha trovato equilibri diversi con oscillazioni ora verso il caldo ora verso il freddo. Ad ogni sua variazione piante, animali e uomini hanno dovuto trovare nuove forme di convivenza, magari migrando in cerca di ecosistemi e habitat più ospitali.

Di periodi caldi nell'Olocene se ne sono verificati altri anche se indizi e testimonianze emergono solo da riscontri letterari e storici e non da misure dirette. Per esempio dal 1140 al 1270 a.C. circa e dal 100 al 380 d.C. circa, è documentata la presenza di tali fenomeni, certamente non imputabili alle attività umane (Crescenti V., 2005).

Vero è tuttavia che a partire dal 1860 si è registrata una crescita delle temperature medie terrestri piuttosto elevata e che tale incremento è, in parte,

imputabile all'aumento del biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>) e del metano (CH<sub>4</sub>) nell'atmosfera. Questo è un dato reale come altrettanto evidente e significativa è la velocità di crescita: rispetto alla fine dell'ottocento il pianeta Terra è più caldo di 0,6 °C e mai una simile variazione di temperatura è avvenuta in un tempo così breve.

Quindi, se da una parte non è da escludere la presenza di fattori estranei all'attività umana, è pur vero che l'uomo contribuisce significativamente all'incremento di temperatura. Quantizzare il contributo antropico è un tema affascinante ma di difficile soluzione; necessita, tuttavia, che tale inconfutabile realtà sia tenuta in debita considerazione da quanti, direttamente o indirettamente, interagiscono con problematiche di carattere ambientale.

In questa fase, preme fornire ragguagli scientifici degli effetti che le variazioni climatiche stanno determinando nella nostra regione.

### **2. VARIAZIONI CLIMATICHE RISCOSTRATE**

Gli studi condotti dall' IPCC (Intergovernmental



Panel on Climate Change) hanno evidenziato le variazioni climatiche in atto, documentandole tramite alcune grandezze di interesse climatologico, quale ad esempio la temperatura.

Si è così riscontrato che il riscaldamento medio globale misurato dal 1860 è stato di circa 1°C, di cui 0,6°C dall'inizio del '900, con un'incertezza di  $\pm 0,2$  °C. Si tratta di valori che non hanno eguali nell'ultimo millennio e che si sono accentuati proprio nell'ultima decade.

Gli anni '90, infatti, sono stati i più caldi del millennio e il 1998 l'anno del record; secondo il Goddard Institute for Space Studies della Nasa la temperatura media della crosta terrestre ha raggiunto i 14,72 gradi centigradi superando di 0,19 gradi il precedente record del 1997. Il tasso attuale di riscaldamento della superficie è pari a 0,15 gradi per decennio. Questo riscaldamento viene confermato su tutto lo spessore dei primi ottomila metri di atmosfera ed è riscontrabile su scala mondiale, europea e regionale. (Cacciamani C. *et al.*, 2001)

Per quanto concerne le precipitazioni, in particolare per quelle interessanti i Paesi del Bacino del Mediterraneo, la loro diminuzione, dalla fine degli anni 50 ad oggi, è significativa (Piervitali *et al.*, 1998) anche se la barriera orografica costituita dalle Alpi ne differenzia la tendenza: le precipitazioni risultano in aumento nell'Europa continentale, a nord della predetta catena montuosa, e in diminuzione nell'Europa mediterranea.

Nell'Italia meridionale, tra il 1921 e il 2005, si è registrato, su quasi il 95% del territorio un calo pluviometrico dovuto in particolare ad un consistente deficit di precipitazioni a partire dal 1980 (Tab.1).

	Puglia	Basilicata	Calabria	Campania
1981-1990	-10,5	-8,6	-12,1	-11,4
1991-2000	-3,8	-7,6	-13,4	-14,6

Tabella 1 - Scarto (%) della piovosità media decennale rispetto alla PMA 1921-2001, (da Polemio M., 2004)

La tendenza negativa è accentuata in inverno, solitamente stagione più piovosa su gran parte dell'area considerata. Questo fattore, unitamente a temperature maggiori della media osservate con regolarità dal 1980, porta regioni come Basilicata, Calabria e Puglia all'insorgenza di notevoli problematiche.

Una rappresentazione sintetica dell'andamento delle precipitazioni in Puglia può essere evidenziata dai dati raccolti, a partire dal 1921, dalla stazione pluviometrica di Taranto. Contrariamente alla tendenza generale, l'andamento dei dati (Fig. 1) evi-

denza un chiaro se pur modesto trend positivo delle precipitazioni cui fa riscontro un trend negativo molto più pronunciato delle giornate piovose (Fig. 2), il che non può che comportare una concentrazione delle piogge in eventi piovosi caratterizzati da sempre più elevate intensità.

Negli ultimi anni, in tutta la Puglia gli eventi meteorici "eccezionali" si stanno verificando sempre con maggiore frequenza; nella provincia di Taranto, durante l'alluvione dell'8 settembre 2003 si sono registrati altezze di pioggia di 300 mm nella zona di Mottola, di 140 mm in quella di Marina di Ginosa, di 115 mm a Taranto e di 109 mm a Gioia del Colle.

Il 14 novembre 2004 nella stazione di Bari Palese si sono registrati oltre 102 millimetri di pioggia in un solo giorno.

La maggiore frequenza con la quale si verificano questi eventi, ormai non più eccezionali, è evidenziata dal grafico di figura 3 che raccoglie la percentuale degli eventi con precipitazioni maggiori di 35 mm verificati in un anno; come si può notare, negli ultimi è significativo l'incremento di tali eventi eccezionali.

Ne consegue una perdita consistente dell'efficacia delle precipitazioni stesse; infatti, l'elevato volume delle piogge associato alle forti intensità non solo non favorisce l'assorbimento delle acque da parte dei suoli e l'infiltrazione in falda, ma provoca regimi di deflusso torrenziale e conseguenti fenomeni di erosione ed inondazione con notevoli danni alle infrastrutture del territorio.

Fenomeni meno appariscenti ma certamente più significativi si stanno registrando nella nostra Regione in alcuni particolari contesti territoriali dove il conubio variazione climatiche-antropizzazione sta innescando profondi processi di degrado ambientale.

Nel Tavoliere delle Puglie sono stati condotti studi sulla sensibilità del territorio alla desertificazione (Cherubini *et al.*, 2004).

Dalle analisi svolte e mediante l'applicazione di specifici indici climatici, si sono evidenziati trend negativi degli apporti meteorici, un aumento nella frequenza, magnitudo e distribuzione dei periodi siccitosi, una variazione delle intensità delle piogge e della loro distribuzione durante l'anno.

I fenomeni climatici più significativi che sono stati analizzati sono l'aridità, la siccità e l'erosività della pioggia relativamente alle stazioni di Foggia Osservatorio, Cerignola e Barletta per il periodo dal 1951 al 2000.

Dalla figura 4, che riporta l'Indice di Anomalia

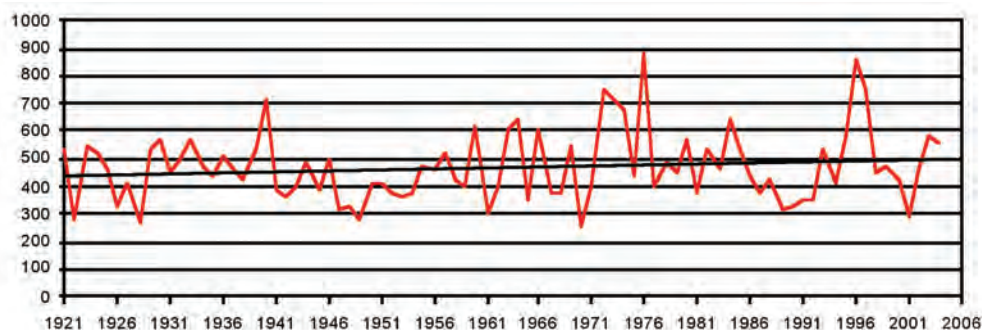


Figura 1 - Trend delle precipitazioni relativo ai dati idrologici della stazione di Taranto

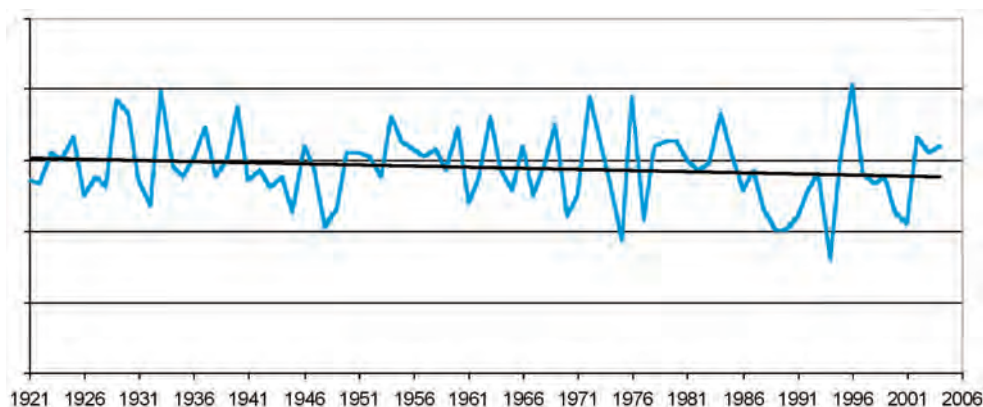


Figura 2 - Trend delle giornate piovose relativo ai dati idrologici della stazione di Taranto

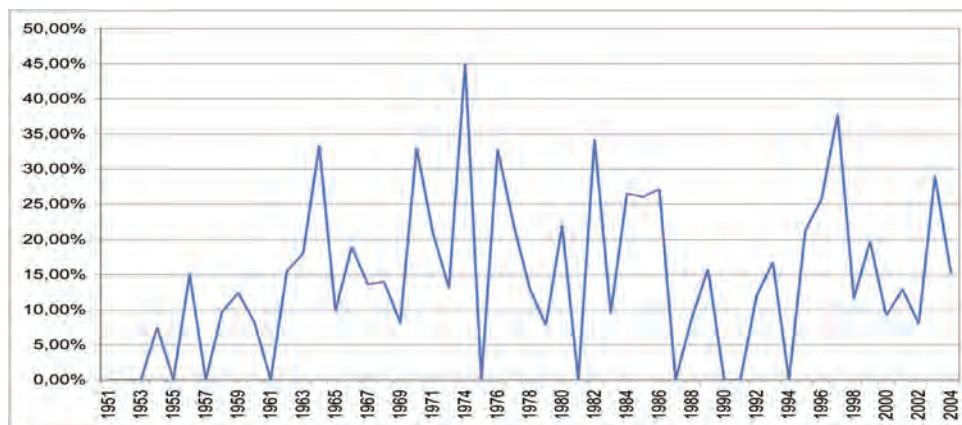


Figura 3 - Trend relativo a precipitazioni maggiori di 35 mm

Standardizzato, SAI, largamente utilizzato a scala Regionale, si può osservare che il numero di anni con precipitazioni inferiori alla media, aumenta notevolmente dagli anni '80; nei primi anni di osservazione, infatti si riscontrano solo pochi casi di precipitazioni inferiori alla media (1953, 1958, 1965), cui fa seguito un periodo, dal 1971 al 1984, di estrema variabilità del SAI con alternanza di periodi positivi e negativi. Infine, a partire dal 1985, il SAI presenta i valori delle precipitazioni totali annue, prevalentemente inferiori alla media, evidenziando una tendenza del clima verso condizioni più siccitose.

### 3. L'INCIDENZA DEI MUTAMENTI CLIMATICI IN PUGLIA

Nella nostra Regione, certamente complice la variabilità climatica, negli ultimi anni, si è registrato un incremento di fenomeni franosi e di inondazioni.

Queste forme di dissesto idrogeologico, che in virtù delle opere di regimentazione eseguite nel passato si erano notevolmente ridotte ed attenuate, con i mutamenti in atto si sono drammaticamente riacquittizzati probabilmente, anche, per l'improvvido uso del territorio fatto negli ultimi decenni.

Attualmente, si stanno analizzando gli effetti di

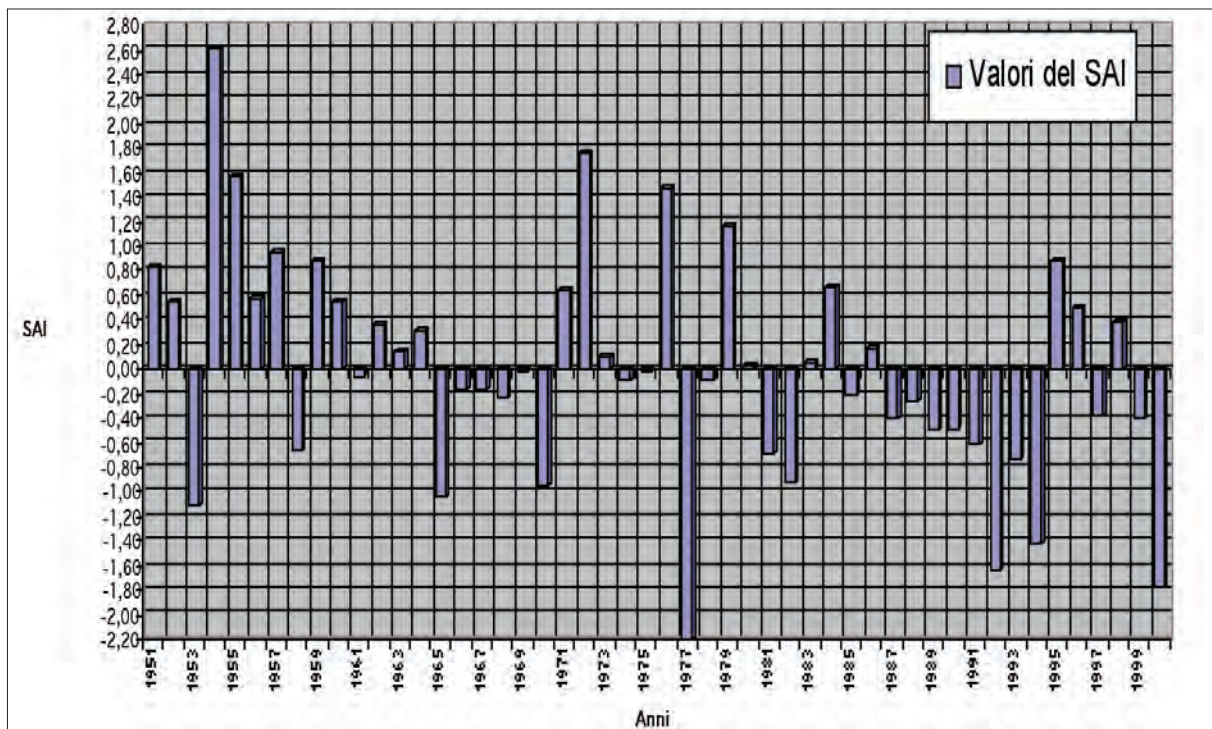


Figura 4 - Istogramma relativo all'applicazione del SAI alla serie storica delle precipitazioni totali annue e per le tre stazioni considerate (da Cherubini et al., 2004)

tali cambiamenti in un'area delle Murge meridionali particolare per le caratteristiche geomorfologiche, idrogeologiche e socio-economiche della Regione: l'area di Conversano.

Ricco di piccoli bacini endoreici e laghetti carsici, l'agro di Conversano contribuisce notevolmente all'alimentazione della falda carbonatica regionale e, per tale motivo, è, attualmente, oggetto di studi finalizzati alla definizione delle ripercussioni che gli accertati cambiamenti climatici possono determinare sulla risorsa idrica sotterranea (Cherubini C, Spizzico V., 2007); è questo, uno dei principali problemi che la comunità scientifica deve porsi.

La problematica diventa poi assolutamente prioritaria allorché ad essere coinvolta è una Regione che, notoriamente povera di risorse idriche superficiali, soddisfa parte delle sue necessità idriche emungendo le acque circolanti in un acquifero carbonatico di tipo costiero.

La Puglia attinge oltre il 60 % delle sue necessità idriche dalle risorse sotterranee; laddove a tali emungimenti si sovrappone anche una ridotta alimentazione, ne consegue un forte depauperamento della falda che si evidenzia attraverso l'arretramento del fronte delle acque dolci con conseguente intrusione delle acque marine nell'entroterra e salinizzazione della fascia costiera.

Esemplificativa a tal proposito è la situazione

riscontrabile a ridosso della riserva naturale di Torre Guaceto, dove il confronto tra le isopieze degli anni '50 e quelle di recente determinazione evidenzia la perdita netta di un metro di carico (Fig. 5).

Naturalmente tale contrazione, favorendo l'intrusione delle acque marine, esalta le conseguenze degli emungimenti, troppo spesso indiscriminati, e induce su ampie zone di acquifero, lungo la fascia costiera, la salinizzazione della risorsa idrica e il degrado della qualità (Fig. 6).

Oltre che sulla falda profonda, le conseguenze di questi mutamenti si ripercuotono anche sulle falde idriche circolanti negli acquiferi miocenici pugliesi. Benché, nel tempo, tali falde abbiano perso la loro valenza, anche negli utilizzi agricoli, risultano tuttavia determinanti nella conservazione delle aree umide regionali.

Queste falde "superficiali" infatti, caratterizzate da modestissime riserve idriche, hanno un regime di deflusso strettamente dipendente dalle precipitazioni; ne consegue che laddove le precipitazioni hanno carattere apicale, breve durata ed elevata intensità, l'infiltrazione efficace si riduce notevolmente e, con essa, l'alimentazione delle falde e delle aree umide con notevoli ripercussioni sullo habitat di queste ultime come nel caso delle Cesine.

La Riserva naturale delle Cesine insiste su di una stretta fascia costiera del litorale adriatico (Fig. 7) e



Figura 5 - Lago Sossano, dopo l'evento di pioggia, verificatosi il 17 settembre 2006 (110 mm di pioggia in 7 h)

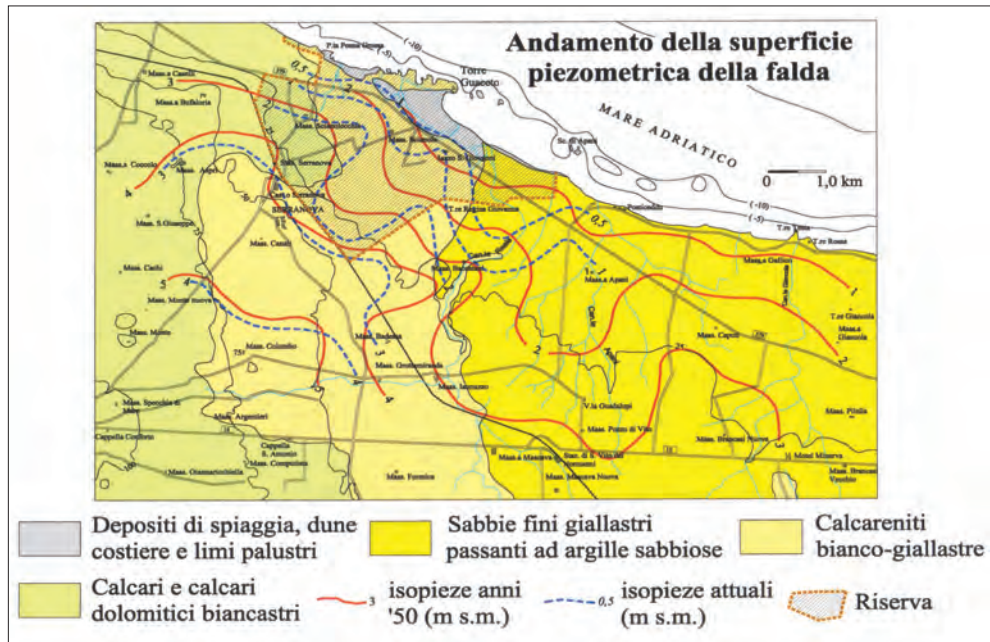


Figura 6 - Confronto delle isopieze degli anni '50 con quelle attuali (da Calò G.C. et al., 2005)



Figura 7 - Intrusione continentale delle acque marine (da Cotecchia V. et al., 1993)



resta delimitata, nell'entroterra, dal canale di bonifica Campolitrano. Per il suo eccezionale valore naturalistico nel 1971 la Convenzione di Ramsar (Iran) la inserì tra le "zone umide di valore internazionale" (Scott Frazier, 1996) e nella rete internazionale di aree umide per il controllo dei processi biogeochimici.

La Riserva è costituita da diversi ambienti: il canneto, il bosco, la palude (a carattere stagionale) e da due grandi bacini retrodunali, il "Pantano grande" e il "Salapi", che contengono acque salmastre determinate dalla mescolanza di acque di intrusione marina con quelle emergenti di falda.

Potenzialmente, si è in presenza di un ecosistema fragile e vulnerabile retto, causa l'utilizzo del territorio circostante, da un equilibrio molto instabile soprattutto durante lunghi periodi di siccità.

Nel caso specifico, il "Canale allacciante Campolitrano", era stato progettato, nei primi anni del secolo scorso, per raccogliere le acque in eccesso e quindi per intercettare e deviare, verso nord e verso sud, le acque di scorrimento superficiale (run off) e parte del deflusso idrico sotterraneo di alimentazione dei due predetti bacini retrodunali.

Purtroppo, così come realizzato, il canale conduttore drena quasi totalmente le acque dolci della falda e lascia alle sole piogge incidenti sull'area della Riserva l'abbattimento della concentrazione salina delle acque marine di intrusione entroterra.

I ridotti apporti pluviometrici intervenuti con i mutamenti climatici, hanno reso più debole l'azione di contrasto e stanno favorendo un sensibile incremento della salinità nei pantani costieri e, soprattutto, una maggiore fragilità degli equilibri idrogeologici.

In ecosistemi fragili, anche i cambiamenti legati a dei fenomeni apparentemente minori, soprattutto la prolungata mancanza di acqua, possono determinare, con rapidità sconcertante il superamento della soglia critica al di là della quale non vi è più rigenerazione naturale: il sistema crolla e la desertificazione si insedia.

Attualmente, con una serie di interventi pilota, su aree circoscritte, si sta cercando di ripristinare, a partire dal bacino più meridionale, le condizioni ottimali per la presenza di una ricca vegetazione e di una variegata fauna stanziale e migratoria (Fig. 8 e 9).

È ben noto, infine, l'influenza del fattore climatico sullo sviluppo e la propagazione degli incendi boschivi che, sia nell'attivazione quanto nella prima propagazione, dipendono, principalmente, dalle quantità di acqua presenti nei tessuti delle piante: determinante è il grado di umidità della vegetazione specialmente del sottobosco.

Altrettanto note sono le problematiche di dissesto idrogeologico che caratterizzano le aree interessate dal passaggio del fuoco: alterazioni chimico-fisiche dei suoli, diminuzione della capacità di infiltrazione, riduzione dei tempi di corruzione e soprattutto l'incremento dell'erosione superficiale.

I suoli sui quali si è sviluppato un incendio diventano meno plastici, meno porosi e perdono coesione; alla distruzione della copertura vegetale può fare rapidamente seguito un degrado profondo del suolo e delle risorse idriche sotterranee tanto da mettere in discussione la ricostituzione della vegetazione originaria (Nahal, 2006).

In ambito mediterraneo è stato osservato il formarsi di uno strato idrofobo negli strati superficiali del suolo, in seguito a forti incendi. Ciò che si depo-

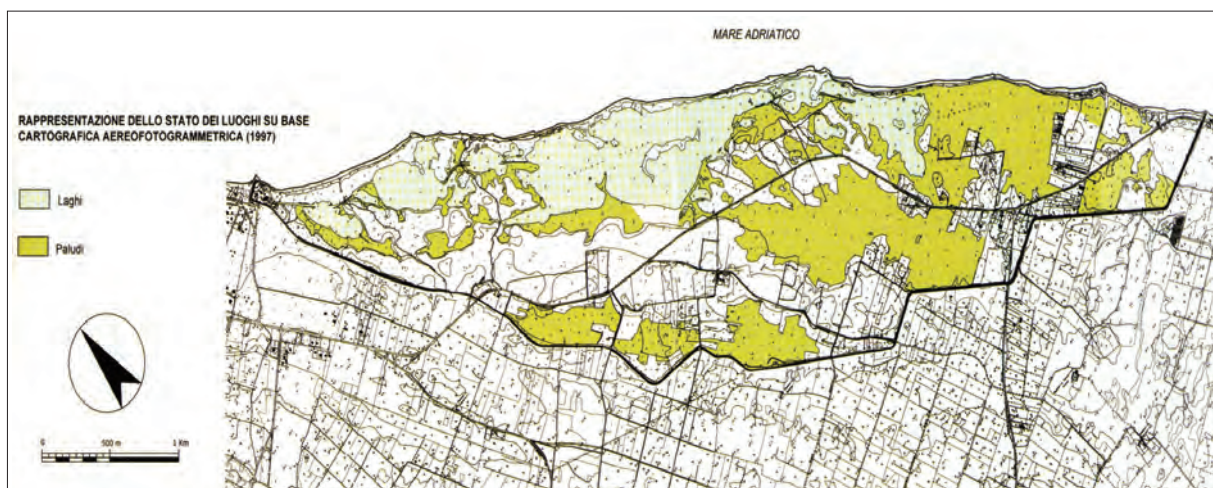


Figura 8 - Fascia costiera del litorale adriatico, la Riserva naturale delle Cesine (da Rizzo F., 2002)

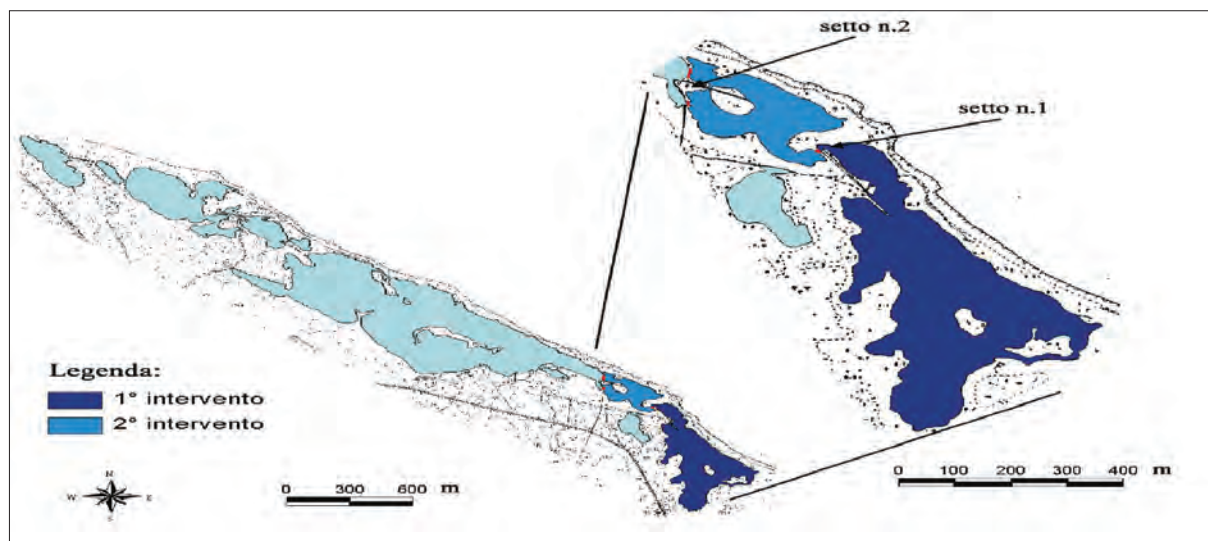


Figura 9 - Intervento sperimentale di ripristino della Riserva naturale delle Cesine (da Calò G.C. et al., 2003)

sita sopra questo strato viene dilavato con facilità dalle piogge che, dopo la siccità estiva, insistono, peraltro con intensità elevate, su suoli aridi e spogli (Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio e del Mare, 2007).

#### 4. CONCLUSIONI

Il fenomeno della desertificazione è il problema ambientale più serio che colpisce attualmente la Terra.

Nell'analizzare tale problema ci si può domandare, a giusto titolo, se la desertificazione non sia la conseguenza di una lenta evoluzione del clima generale verso regimi più aridi. Se tale nefasto processo ambientale è dovuto ai cambiamenti del clima l'uomo dovrà subirla ed accettarla perché dovuto a cause cosmiche, in tale realtà ci si dovrà adeguare.

Ma se la desertificazione è una espressione integrata dell'evoluzione socio-economica e dei processi naturali che distruggono gli equilibri tra le risorse naturali (suolo, aria, acqua e loro espressione integrata: la vegetazione) e i consumi umani, l'uomo si dovrà convincere di sfruttare queste risorse con moderazione adottando gestioni sane ed equilibrate in perfetta armonia con le caratteristiche potenziali della risorse naturali e dell'ambiente.

#### BIBLIOGRAFIA

CACCIAMANI C., DESERTI M., MARLETTO V., TIBALDI S., VIOLETTI D. e ZINONI F. (2001) - *Mutamenti climatici, situazione e prospettive*- ARPA Emilia- Romagna, Servizio Meteorologico Regionale, febbraio 2001. Nota tecnica preparata in occasione della "Giornata dei Consigli Provinciali sui

Mutamenti Climatici", 30 gennaio 2001.

CALÒ G.C., TINELLI R., MACRÌ F., BASSET A., PINNA M., CARLUCCI D.(2003) – *La riserva naturale delle Cesine (Puglia, Italia). Studio preliminare per un intervento di ripristino ambientale*- Siti Contaminati 2/2003, pp.68-82.

CALÒ G.C., TINELLI R. (2005) - *The natural reserves of Torre Guaceto (Apulia, south Italy). An action of environment remediation*- Italian-Russian Institute of Education and ecological Researches, 3rd Symposium "Quality and Management of water Resources" St.Petersburg, Russia, pp. 440-449.

CHERUBINI C., SPIZZICO V. (2007) - *Peculiarissimi aspetti carsici del territorio di Conversano in relazione agli attuali mutamenti climatici e socio-economici*. Convegno dei Giovani Ricercatori in Geologia Applicata, AIGA, Venezia.

CHERUBINI CL.A., DEL PRETE R., GIASI C.I. (2004) - *The sustainable management of resources in the mitigation of the risk of desertification in Apulia region*. The Sustainable City III, 2004. Editors Marchettini N., Brebbia C.A., Tiezzi E., Wadhwa L.C. WIT Press, Southampton, UK ISBN: 1-85312-720-5; ISSN: 1368-1435.

CRESCENTI V. (2005) – *Il Contributo delle scienze geologiche per la valutazione dei cambiamenti climatici* - XCI Congresso Nazionale Società Italiana Fisica, Catania.

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE (2007) - *Fattori determinanti la propensione al dissesto in aree percorse da incendi boschivi*. www.minambiente.it

COTECCHIA V., TADOLINI T. (1993) – *Problematiche ambientali in Murgia e Salento (Puglia) con-*



## CAMBIAMENTI CLIMATICI E RISCHI GEOLOGICI IN PUGLIA

CASTELLO DI SANNICANDRO DI BARI - 30 Novembre 2007

*nesse alla contaminazione progressiva delle acque di falda ad opera dell'ingressione marina.* – Atti Clima ambiente e territorio nel Mezzogiorno, Amalfi. Vol.I pp.489-501.

NAHAL I., (2006) – LA DÉSSERTIFICATION DANS LE MOND: causes, processus, conséquences, lutte – ed. l'Harmattan pp.150

PIERVITALI, E., M. COLACINO, M. CONTE (1998) - *Rainfall over Central-Western Mediterranean basin*

*in the period 1951-1995.* Part I: precipitation trends. Il nuovo Cemento, 21 C, N. 3, 331-344.

POLEMIO M., CASARANO D. (2004) - Trend termoplumiometrico e siccità in Italia meridionale- Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, CNR, Bari, Italia.

RIZZO F. (2002) - *I processi di trasformazione territoriale nell'area "Le Cesine"*- Le Cesine, edizioni Ideemultimediali.