

PASQUALE BRANDIS - GIUSEPPE SCANU

DIFESA DEL SUOLO E RISORSE IDRICHE (*)

1. *Note introduttive.* – Soprattutto di recente, com'è noto, gravi eventi ambientali sono stati provocati dall'incauta tendenza ad uno sfruttamento troppo intenso delle risorse naturali, tra cui le acque superficiali e sotterranee. Gli esempi sono alla portata di tutti per la loro frequenza e drammaticità, non ultimi quelli relativi alle inondazioni del Bangladesh provocate non soltanto dalle torrenziali piogge monsoniche ma anche dagli squilibri idrogeologici indotti dalla progressiva deforestazione dei bacini idrografici (1).

Altri esempi riguardano le frane, che seppelliscono centinaia di persone nelle *bidonvilles* delle grandi metropoli sudamericane a seguito di eventi piovosi eccezionali verificatisi in regioni di recente deforestazione dove non potevano non innescarsi conseguenti fenomeni erosivi (2).

(*) Il presente contributo è il risultato di alcuni approfondimenti che fanno seguito alla relazione presentata al convegno «Difesa del suolo e territorio» svoltosi nella sede sociale il 30 maggio 1991. Il lavoro si inserisce nell'ambito dei progetti finanziati dal MURST (40%). Gli autori hanno condotto la ricerca in stretta collaborazione per quanto concerne il reperimento e l'elaborazione dei dati. Quanto alla stesura delle singole parti, a G. Scanu competono i paragrafi 2 e 4, a P. Brandis il paragrafo 3; note introduttive e conclusioni sono comuni a entrambi.

(1) In questi ultimi anni le inondazioni nel Bangladesh si sono ripetute sempre più frequentemente. Quella del 1988, la più grave a memoria d'uomo, ha lasciato senza tetto 25 milioni di persone, inoltando l'esercito di quelli che possiamo chiamare i «profughi dell'ambiente». Cfr. BROWN L.R., FLAVIN C. e POSTEL S., *Un mondo a rischio*, in *State of the World 1989*, ediz. ital. a cura di BOLOGNA G., Torino, ISEDI, 1989, pp. 1-32 (v. p. 3).

(2) Si può solo accennare al settembre del 1978 di Medellín, in Colombia, dove morirono oltre 500 persone, e al febbraio successivo dei sobborghi di Rio de Janeiro, dove si ebbero oltre 300 morti, più di 1000 feriti e 20.000 senza tetto. Le cronache hanno riportato notizie dei tifoni del 1991 che provocarono estesissime inondazioni in diverse regioni della Cina, causando 2000 morti e danni per 11.000 miliardi di lire. Anche in Italia non mancano dissesti provocati dalle acque ed è ancora vivo il ricordo almeno dell'alluvione di Firenze del '66, della frana della Valtellina e delle inondazioni del Po (gli esempi di questo tipo potrebbero continuare a lungo). Una recente nota diffusa dal dipartimento della Protezione civile su dati del CNR assegna al nostro paese il primato di ben 8588 casi di dissesto idrogeologico verificatisi nel periodo 1910-1990 con un costo giornaliero di 22 miliardi. 3016 piene e 5572 frane sarebbero però eventi sottostimati rispetto alla situazione reale.

E' evidente che il degrado del suolo implica a monte processi naturali di erosione e di desertificazione (3) non sempre disgiunti da interventi dovuti alle attività umane (4). Sicché la valenza del fenomeno assume un livello che abbraccia una gamma molto ampia e complessa di situazioni che vanno dal degrado parziale del suolo (inteso come perdita dello spessore di *humus*) a una distruzione totale del terreno agrario. Se quest'ultima forma di degrado è quella che interessa di più per il clamore e per il modo, di solito improvviso, con cui si manifesta, la prima è più preoccupante poiché coinvolge estese regioni, minacciando seriamente le possibilità di sopravvivenza di intere popolazioni soprattutto nei paesi definiti in via di sviluppo. Secondo le valutazioni degli esperti, ogni anno 6 milioni di ha sono interessati da processi irreversibili di desertificazione mentre altri 20 milioni vengono depauperati senza possibilità di recupero ai fini produttivi (5). Ciò accade perché vari fenomeni di degrado provocano la perdita dell'*humus* per diverse cause (eccessivo sfruttamento pascolivo, coltivazioni troppo intensive, sovraccarico d'acqua con fenomeni di salinizzazione del terreno irriguo, diboscamento, ecc.) che favoriscono l'erosione ed il trasporto delle particelle di sostanza fertile ed il conseguente sversamento a mare della stessa. Anche se per tutti i paesi non si conosce esattamente il valore della perdita del suolo agrario, si calcola comunque che approssimativamente circa 20 miliardi di t di terra (senza tener conto di quella che decanta all'interno dei laghi) viene riversata annualmente in mare da fiumi e torrenti (6).

Queste considerazioni, se da un lato forniscono un ordine di grandezza della capacità di erosione del suolo provocata dalle acque superficiali, soprattutto là dove i fiumi scorrono in aree di recente sollevamento, dall'altro evidenziano come, su scala mondiale, il problema della difesa del suolo e delle risorse idriche riguardi soprattutto i corpi idrici ed i loro bacini imbriferi.

(3) VERSTRAETE M. M., *Defining Desertification: A Review*, in «Climatic Change», n. 9, 1986.

(4) Per un ulteriore approfondimento dei problemi legati alla desertificazione, tra cui anche alcuni aspetti citati nel presente lavoro, si rimanda a FAGGI P., *La desertificazione. Geografia di una crisi ambientale*, Milano, Etas Libri, 1991.

(5) Secondo un'analisi dell'UNEP, 4,5 miliardi di ha in tutto il mondo (circa il 35% dell'intera superficie coltivabile mondiale), dove vivono oltre 850 milioni di persone, si trovano in uno stadio di desertificazione più o meno avanzato. Cfr.: UN ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP), *General Assessment of Progress in the Implementation of the Plan of Action to Combat Desertification 1978-1984*, Nairobi, 1984; ID, *Sands of Change: Why Land Becomes Desert and What Can be Done About it*, in «Environment Brief», n. 2, Nairobi, 1988; DREGNE H.E., *Desertification of Arid Lands*, New York, Harwood Acad. Publishers, 1983.

(6) Dai dati resi noti dopo i rilievi dell'Ocean Drilling Program (Texas A M. University, College Station, 4 settembre 1987), si rileva che il fiume che concorre nella misura maggiore ad incrementare questo dato è il Gange-Brahmaputra, con circa 3 miliardi di t annue. Seguono lo Huang He con 1080 milioni, il Rio delle Amazzoni con 900, il Chang Jiang con 478 milioni di t. E' accertato che quasi la metà dei sedimenti trasportati a mare dallo Huang He proviene dalle colline di *loess* che si estendono a metà percorso per circa 430.000 km², dove il tasso di erosione, tra i più alti che si conoscano, si aggira sulle 65 t annue per ha. Cfr. FAO e WFP, *Improved Land Use of the Loess Plateau, Mizhi County, Shaanxi Province*, Roma, 1984.

E' noto che ai corsi d'acqua spetta la maggior parte delle risorse idriche utilizzabili dall'uomo e che la loro disponibilità ha da sempre guidato la localizzazione delle sedi principali delle società organizzate, così com'è noto che l'ecumene si identifica in massima parte con le regioni che godono di ampia disponibilità di acqua.

Tale coincidenza fa sì che all'erosione naturale, ed in particolare alla morfogenesi operata dai corsi d'acqua, si sovrapponga l'erosione accelerata provocata artificialmente dalle diverse attività antropiche, che spesso non tengono conto delle situazioni ambientali. E' ovvio che così l'uomo finisce per alterare le condizioni di equilibrio naturale, provocando alluvioni, frane, crolli, ecc. Ciò si verifica in molti paesi, e soprattutto in quelli (come ad esempio il nostro) dove già le caratteristiche geomorfologiche e l'andamento della stagione piovosa, anche senza il concorso di errati interventi antropici, sono sufficienti a provocare vistosi fenomeni di erosione, trasporto e accumulo di materiali vari, tanto che spesso per il loro arginamento sono necessarie rilevanti opere di ingegneria. Al riguardo è ben noto che interventi volti ad imbrigliare i corsi d'acqua, a deviarli, o a moderarne la turbolenza con traverse e dighe, in qualche occasione hanno provocato addirittura danni più gravi di quelli per il cui annullamento erano stati realizzati. La rottura di un argine, ad esempio, o delle opere realizzate per la costruzione di un lago artificiale ha provocato in certi casi alluvioni violente ed improvvise, capaci di un effetto dirompente notevolmente amplificato (7).

Da tali considerazioni si evince come il rapporto tra difesa del suolo e risorse idriche sia generalmente vissuto in maniera problematica e come l'acqua, talvolta, più che risorsa, sia considerata elemento di pericolosità ambientale, certamente il più diffuso nel nostro paese e in quasi tutta l'ecumene (anche se non il più catastrofico quando sia rapportato agli effetti, talora ben più devastanti, dei terremoti e dell'attività vulcanica).

Eppure, è appena il caso di ricordarlo, l'acqua è la risorsa basilare per la vita del pianeta e dovrebbe rappresentare tutt'altro che elemento di pericolosità per l'uomo. Ma spesso sono proprio l'utilizzo e le opere necessarie alla fruizione di questa risorsa che provocano fenomeni di degrado, di ero-

(7) A questo proposito, fortunatamente, è da rilevare la recente introduzione anche nel nostro paese delle normative per la valutazione dell'impatto ambientale provocato dalla realizzazione di importanti opere quali dighe, centrali idroelettriche, autostrade, ecc. La cosiddetta procedura della VIA impone anche la simulazione degli effetti negativi che tali costruzioni possono provocare in caso di eventi eccezionali. In questo modo si può meglio definire il dimensionamento delle opere così che i danni, quanto meno, possano essere attenuati. Questo coincide anche con una generale presa di coscienza sulla necessità di invertire la logica della programmazione di opere di difesa del suolo al fine di annullare o, almeno, ridurre gli effetti che le acque fluenti possono apportare al territorio. Grazie alla presa di coscienza di questi fenomeni attraverso le «ideologie ambientaliste», si sta infatti cercando di correggere la tendenza alla cementificazione diffusa degli alvei dei corsi d'acqua come unica difesa dalle esondazioni, dalle frane e dalle alluvioni.

sione, addirittura di desertificazione, di ampie fette di territorio: fenomeni che, di solito, sono poco considerati e conosciuti, pur essendo di notevole rilevanza sotto il profilo del danno ambientale. Esiste però anche un modo diverso di affrontare il problema della difesa del suolo, rispetto allo sfruttamento delle risorse idriche, che si ricollega proprio agli usi dell'acqua da parte dell'uomo. E' proprio in questo senso che si è avviata una ricerca organica – di cui qui si dà conto – sugli effetti negativi provocati a carico del suolo, e dell'ambiente in generale, dallo sfruttamento delle risorse idriche.

La ricerca è impostata su due direttrici fondamentali: una di carattere generale, tendente a individuare uno schema logico di classificazione dei fenomeni cui si è accennato; l'altra di carattere regionale e descrittivo, intendendo con questo termine una lettura critica comparativa nell'ambito di diverse unità geografiche a varia scala. Viene preliminarmente adottata la tradizionale ripartizione delle acque in *acque superficiali* (laghi naturali e artificiali, stagni, fiumi, coperture nevose) e *acque sotterranee* (falde).

In questa prima parte vengono affrontati alcuni problemi relativi al quadro generale su scala mondiale richiamando i casi più significativi: quasi un censimento emblematico, basato su esempi ben noti e ritenuti utili a fornire una chiave di lettura critica e organica attraverso gli studi specifici, sia pure frammentari, già effettuati.

2. *Laghi naturali e conservazione degli equilibri ambientali.* – Se è vero che la presenza di un lago, oltre che condizionare sotto il profilo ambientale il territorio circostante, può favorire, in generale, almeno qualche forma di difesa del suolo dall'erosione, è altrettanto vero che i processi di trasformazione finale che preludono alla sua scomparsa creano implicanze, modificazioni e problemi notevolissimi, soprattutto lungo la fascia rivierasca. In particolare, se questi processi sono innescati artificialmente dall'intervento umano senza tener conto dei delicati equilibri ambientali raggiunti nel tempo, è facile superare quel limite di guardia – sia nel corpo idrico, nei fondali e nelle fasce rivierasche, sia nei territori circostanti – oltre il quale si travalicano i confini ecologici.

Il caso del Lago d'Aral, compreso nelle repubbliche centro-asiatiche del Kazakistan e dell'Uzbekistan, è un esempio eclatante di come lo sfruttamento dell'acqua di un bacino idrografico, anche di grande volume e ampiezza, possa innescare processi irreversibili di degrado, con fenomeni di erosione del suolo e, spesso, di desertificazione dei territori circostanti, dove qualsiasi progetto o iniziativa di difesa può risultare praticamente inattuabile.

I prelievi idrici a carico dei due grandi immissari, il Syr Darja e l'Amu Darja, che hanno consentito in un recente passato l'irrigazione della quasi totalità dei terreni pianeggianti, terreni che assicuravano all'ex Unione Sovietica il 95% della produzione di cotone, oltre un terzo della frutta, un quarto degli ortaggi e quasi la metà del riso, hanno anche, inesorabilmente, ridotto gli apporti idrici al lago. Il livello medio di quest'ultimo ha subito un costante abbassamento, con una contrazione, dal momento in cui presero

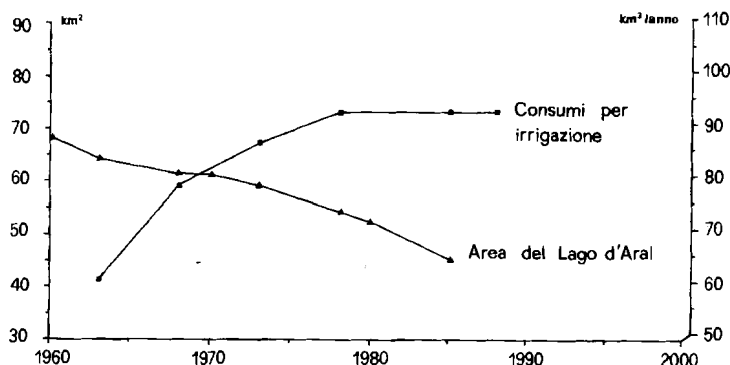


FIG. 1 – RAPPORTO TRA PRELIEVI D'ACQUA E RIDUZIONE DELLA SUPERFICIE LACUSTRE, NEL CASO DEL LAGO D'ARAL.

avvio le canalizzazioni, di circa 12 m in vent'anni (8). La superficie lacustre ha subito una diminuzione del 40% circa (9), il volume, di quasi due terzi. La città di Mujnak, un tempo fiorente centro portuale, nota soprattutto per la lavorazione del pesce, si trova oggi ad oltre 50 km dalla linea di riva, fenomeno che ha causato danni rilevanti all'economia e all'assetto socio-economico del territorio.

La lettura del grafico fig. 1, che mette a confronto i prelievi d'acqua e la diminuzione della superficie del lago, evidenzia la stretta relazione tra i due fenomeni (10).

A questi effetti negativi se ne aggiunge un altro rilevante con la modificazione del contenuto salino delle acque, che è risultato triplicato, determinando la scomparsa di tutte le specie ittiche originarie: dal punto di vista biologico si è di fronte ad uno dei maggiori disastri ambientali causati dall'uomo a carico di una grande conca lacustre.

Intorno all'attuale specchio d'acqua, nel fondale asciutto, sottoposto ad un processo accelerato di desertificazione, vengono favorite le tempeste di sabbia che ricoprono, frammiste a sale e con quantitativi valutati intorno ai 43 milioni di t annue (11), i terreni circostanti, con il risultato di danneggiare proprio quelle colture per le quali, altrove, viene utilizzata l'acqua un

(8) MICKLIN P.P., *The Water Management Crisis in Soviet Central Asia*, Atti «National Council for Soviet and East European Research», Washington, 1989.

(9) MICKLIN P.P. *Desiccation of the Aral Sea: A Water management Disaster in the Soviet Union*, in «Science», 2 settembre 1988.

(10) La figura è tratta da POSTEL S., *Risparmiare acqua per l'agricoltura*, in BROWN L.R. e altri, *State of the World*, ediz. ital. a cura di BOLOGNA G., Torino, ISEDI, 1990, pp. 65-98; cfr. p. 78.

(11) «Nell'Unione Sovietica 2,5 milioni di ettari sono colpiti dalla salinizzazione, in massima parte nelle zone irrigue desertiche dell'Asia centrale». Cfr. POSTEL S., *Risparmiare acqua per l'agricoltura*, cit., p. 74.

tempo destinata all'equilibrio naturale del lago (12). Molti studiosi si preoccupano dell'insorgere della catastrofe ecologica che sarà provocata dalla lenta ma progressiva scomparsa del lago qualora non si riesca ad attivare forme adeguate di difesa del suolo (13).

Secondo alcuni ricercatori, inoltre, l'impatto climatico provocato dalla diminuita superficie del lago potrebbe far sentire i suoi effetti addirittura fino all'Afghanistan e all'Iran, dove arrivava la sua azione termoregolatrice (14).

Questo è certo uno degli esempi più eclatanti del rapporto esistente tra difesa del suolo e risorse idriche; particolarmente significativo del fatto che i prelievi a monte, alterando l'equilibrio preesistente, provocano danni ambientali di grande portata (15).

Il caso del Lago d'Aral è sufficiente a dimostrare l'ampiezza e la gravità delle modificazioni ambientali provocate dall'alterazione dell'equilibrio idrico di un bacino naturale tramite prelievi incontrollati. Di esempi analoghi se ne annoverano diversi: si può richiamare quello del Lago di Tiberiade (o Kinneret), il maggior bacino d'acqua dolce in Israele, ubicato nella parte settentrionale della valle del Giordano e noto anche come Mare di Galilea.

Per l'utilizzo delle acque del lago venne realizzato l'acquedotto nazionale di Israele; l'opera di adduzione, iniziata negli anni '50 e ultimata nel '64 (16), consente di prelevare annualmente dal lago 400-430 milioni di m³ di acqua che vengono utilizzati nell'agricoltura, nell'industria e per uso domestico (17).

Nel momento in cui l'acquedotto entrò in funzione si presentarono subito due problemi: la salinità del lago era così elevata da danneggiare proprio quelle colture alle quali l'acqua era destinata e in particolare quelle più sen-

(12) WALKER M., *Sea Turning Into Desert*, in «Manchester Guardian Weekley», Manchester, 24 aprile, 1988.

(13) Si pensa che, se non verranno presi tempestivi provvedimenti, prima della fine di questo secolo, il Lago d'Aral possa frammentarsi, costituendo a sud una massa idrica con salinità ben superiore a quella del mare e a nord una serie di piccoli laghi salmastri. Cfr.: MICKLIN P.P., *The Water Management...*, cit.; ID., *Desiccation of the Aral Sea*, cit.

(14) MICKLIN P.P., *Desiccation of the Aral Sea*, cit.

(15) Fortunatamente, questo evento ha fatto desistere il Governo dell'allora Unione Sovietica dall'ambizioso progetto di deviare verso le aride pianure dell'Asia centrale i corsi d'acqua che si gettano nel Mar Glaciale Artico per consentire lo sfruttamento delle acque a fini irrigui (BROWN L.R., *Riesaminare la prospettiva alimentare mondiale*, in *State of the World 1989*, cit., pp. 69-104; cfr. p. 89).

(16) Il lago, la cui superficie è a 209 m sotto il livello del mare con un'ampiezza di 270 km², si estende per 22 km in senso nord-sud e raggiunge la larghezza di 14 km, con un volume complessivo di acqua pari a 3 miliardi di m³ circa. E' utilizzato dall'acquedotto nazionale, artefice primario dello sviluppo dei nuovi territori di Israele, il National Water Carrier, definito «l'acquedotto più audace del mondo», in quanto trasporta l'acqua dal Nord alle regioni meridionali del paese sollevandola da -210 a +160 m e la distribuisce lungo una distanza di 130 km.

(17) BERMAN T., *Il lago Kinneret: un caso di prevenzione e tutela delle acque di un lago temperato utilizzato per diverse funzioni*, in Atti-prestampa del conv. «Inquinamento e recupero dei laghi», Roma, Andis, 1985, pp. 228-236. Cfr. anche GABBI G., *La pace verrà con il mormorio dell'acqua*, in «Airona», 128, 1991, pp. 50-56.

sibili ai vari sali (soprattutto la coltura del limone) mentre le scadenti proprietà chimiche e organolettiche compromisero gravemente la disponibilità dell'acquedotto per uso potabile.

Per risolvere il primo problema, una volta individuata la fonte di provenienza della salinità, vennero realizzate diversioni delle acque che si immettono nel lago portandole artificialmente a scaricare più a valle, nel basso corso del Giordano. Attualmente la canalizzazione delle acque saline è utilizzata anche per lo scarico dei liquami provenienti dalla città di Tiberiade e da altri insediamenti della sponda occidentale del lago, dopo un trattamento secondario; un altro collettore devia invece gli scarichi dalla sponda orientale riversandoli sempre a sud del bacino.

La diversione delle acque saline e dei reflui urbani e la loro immissione nel corso inferiore del Giordano, se da un lato consentì alle acque del lago di acquistare parametri di accettabilità per il prelievo acquedottistico, dall'altro provocò un impatto negativo sui sistemi ambientali della bassa valle del fiume. Il calo di salinità sembra inoltre aver provocato sensibili alterazioni all'ecosistema lacuale, i cui effetti non sono stati ancora accertati. E, certamente, ha avuto conseguenze negative sulla pesca commerciale che assicura un prodotto medio annuo di 1500-2000 t di pescato.

Anche l'utilizzazione turistica del lago non ha mancato di provocare gravi problemi di impatto ambientale, connessi con l'espandersi di insediamenti non dotati di adeguati impianti di smaltimento dei reflui, il che ha reso in più casi precarie le condizioni di igienicità (18).

Quella dell'uso dei bacini lacustri per lo scarico dei reflui urbani e industriali è un'altra pratica che ha effetti gravemente negativi sull'ecosistema. Il fenomeno era già diffuso negli anni '60 e '70, allorché l'insensibilità verso i problemi dell'ambiente, associata alla marcata tendenza della società industriale al consumo indiscriminato delle risorse, aveva già provocato non pochi casi gravissimi di inquinamento, ancora non completamente sanati.

Esempi di questo tipo sono frequenti nelle regioni caratterizzate da intensa industrializzazione e urbanizzazione delle aree dove sono presenti sistemi lacustri. In Europa il problema si pone, in particolare, per alcuni paesi settentrionali e centrali (Svezia, Norvegia, Polonia, Austria, Svizzera). In Italia è ben noto il caso del Lago Maggiore (19).

(18) Per un approfondimento degli argomenti esposti si rimanda a: SERRUYA C., *Lake Kinneret Monographiae Biologicae*, 32, L'Aia, Dr Junk Publishers, 1978, pp. 502; GOPHEN M., *The Eutrophication Status of Lake Kinneret and Management Recommendations*, in «Proceedings of Shiga Conference on Lakes Conservation», Shiga-Otsu, 1982.

(19) La letteratura specializzata relativa alle condizioni di eutrofizzazione dei laghi è ormai assai vasta e consente di affrontare in maniera esaustiva l'argomento. Il problema è peraltro ben noto da quando la concentrazione urbana, l'industrializzazione, il diffondersi dell'agricoltura specializzata intensiva e l'aumento della quantità dei rifiuti urbani liquidi hanno provocato un incremento delle produzioni di sostanze fosforiche e azotate che, riversandosi nei bacini lacustri, hanno finito con l'alterare le condizioni di eutrofia, con frequente evoluzione ver-

L'utilizzo dei bacini lacustri naturali come ricettori finali delle produzioni reflue umane ha provocato un primo fenomeno di degrado che corrisponde alla variazione delle condizioni di eutrofizzazione, più marcate nei laghi in prossimità di aree urbanizzate. Le variazioni di tali condizioni sono state spesso molto rapide con conseguente passaggio attraverso i vari stadi di eutrofizzazione, da scarsa (oligotrofia) a relativamente limitata (eutrofia), media (mesotrofia) e di grave compromissione (ipereutrofia), dando luogo a forme di degrado assai spinte che hanno causato sensibili variazioni non solo nel sistema ecologico del lago ma anche nel contesto ambientale di tutta la zona circumlacustre. Talvolta l'aumento dell'eutrofizzazione ha coinciso con l'incremento di attività economiche, in particolare di quelle turistiche. E' il caso dei laghi austriaci, che ha spinto il Governo a massicci interventi finanziari per la costruzione di fognature e di impianti di trattamento dei liquami (20).

Tra i casi più noti non si può non ricordare quello della Svezia, paese nel quale i laghi coprono circa un dodicesimo della superficie. In quella parte della Scandinavia il problema della eutrofizzazione si è posto a partire dalla fine degli anni '40, allorché alcuni laghi divennero ricettori delle acque di scarico dei centri urbani (21).

In Polonia sono presenti diverse migliaia di laghi (9300 circa con superficie superiore ad 1 ha), situati prevalentemente nella parte centro-settentrionale del paese (Masuria) (22). In alcuni di questi laghi il carico nutriente – dovuto agli scarichi connessi con l'incremento del turismo, gli insediamenti urbani, il dilavamento dei terreni, l'attività dell'industria alimentare – è solitamente superiore alla soglia di accettabilità, e il processo di eutrofizzazione si è fortemente accelerato soprattutto dopo gli anni '70, compromettendo seriamente l'intero ecosistema lacuale (23).

A questa prima conseguenza negativa dovuta all'utilizzo dei bacini lacu-

so situazioni di ipereutrofia. L'incremento del carico nutriente nei laghi ha così provocato uno sconvolgimento dell'ecosistema, con crescita abnorme di alghe e scomparsa delle originarie biocenosi. L'introduzione degli impianti di depurazione è assai recente e comunque posteriore all'incremento dell'antropizzazione cui fece seguito una nuova politica, anche nel nostro paese, di protezione delle acque dall'inquinamento. Tra i geografi si può citare TURCO A., *Organizzazione territoriale e compromissione ambientale nel bacino imbrifero del Lago Maggiore*, «Mem. Ist. Ital. Idrobiol.», 35, Pallanza, 1977, pp. 157.

(20) FLÖGL H. e FLÖGL W., *Diversione dei carichi mediante collettori*, in Atti-prestampa del conv. «Inquinamento e recupero dei laghi», cit. pp. 161-175.

(21) Nel lago Vättern, ad esempio, il carico di fosforo aumentò dalle circa 50 t annue degli anni '40 alle circa 200 sul finire dei '60; oggi è stato invece ridotto, grazie agli impianti di depurazione, a circa 80 t annue (cfr. OLSEN P. e WILLÉN E., *Phytoplankton Response to Sewage Reduction in Vättern, a Large Oligotrophic Lake in Central Sweden*, in «Arch. Hydrobiol.», 89, 1980, pp. 171-188).

(22) GLIWICZ Z.M. e KOWALCZEWSKI A., *Epilimnetic and Hypolimnetic Symptoms of Eutrophication in Great Masurian Lakes, Poland*, in «Freshwater Biol.», 11, 1981, pp. 425-433.

(23) SPODNIEWSKA I., *Ecological Characteristics of Lakes in North-Eastern Poland Their Trophic Gradient. VI. The Phytoplankton of 43 Lakes*, in «Ekol Pol.», 31, 1983, pp. 353-382.

stri come ricettori finali degli scarichi non depurati, se ne aggiunge un'altra, ugualmente negativa e di forte impatto sull'ambiente in generale e sul suolo in particolare. Per evitare, infatti, che le acque reflue si riversino direttamente nei bacini lacustri sono stati costruiti complessi sistemi di depurazione delle acque, sovente veri e propri «anelli tecnologici», rappresentati da una rete di impianti di depurazione collegati tra loro da canali e condotte le cui strutture determinano un consumo e una compromissione dello spazio notevoli. Se queste opere possono consentire che il grado di eutrofizzazione dei corpi idrici provenienti da fonti esterne rimanga entro limiti di guardia, resta sempre il problema dell'abbattimento dello stato trofico già raggiunto dalle acque nei bacini lacustri.

Un altro sistema per evitare l'eutrofizzazione provocata dallo sversamento dei reflui nei laghi è quello connesso con la realizzazione di opere di diversione che consentano lo scarico a valle dei bacini; in questo caso la soluzione si pone alternativa alla costruzione degli impianti di depurazione, e allora entrano in gioco importanti fattori economici, oltre a quelli ambientali collegati con l'immissione nel suolo o in altri corpi ricettori delle acque non depurate.

Un esempio di come il problema possa essere risolto è quello dell'Austria, ove le acque reflue provenienti dai centri urbani rivieraschi sono captate da sistemi fognari collegati con gli impianti di depurazione centralizzati.

Spesso il collegamento tra condotte e impianto avviene tramite tubazioni sommerse a pressione, costruite in polietilene; altre volte, allorché l'urbanizzazione è diffusa lungo la riva, si preferisce il collegamento interfognario senza ricorrere alle tubazioni sommerse. Come casi di diversione delle acque di scarico con condotte in pressione sublacuali si possono citare, tra i laghi austriaci, l'Attersee e lo Hallstättersee (24); esempi di condotte fognarie circumlacuali collegate direttamente con impianti di depurazione centralizzati sono invece quelle del Neusiedlersee (25).

In Italia si possono richiamare i casi ben noti dei sistemi ad anello nei laghi di Varese e di Bracciano. Le questioni connesse con la difesa del suolo relativamente alla presenza di queste grosse (e costose!) opere ingegneristiche dipendono dal fatto che il territorio viene ad essere assoggettato agli impatti provocati da tali infrastrutture che pongono non pochi problemi di integrazione tra ambiente e opere di disinquinamento. Basta una fermata dell'impianto, ad esempio, per provocare un impatto notevolissimo per quanto concerne sia l'inquinamento dell'aria sia l'immissione improvvisa nei corpi ricettori degli scarichi non depurati. Si pensi poi alla possibilità, peraltro non remota in alcune aree, che si verifichino dei terremoti e alla conseguente compromissione dell'intero sistema con accentuazione del rischio di degrado ambientale causato dall'immissione di scarichi concentrati.

(24) FLÖGL H., *Beitrag zum Seenschutz*, Schriftenreihe des Österreichischen Wasserwirtschaftsverbandes, 43, Vienna, 1961.

(25) FLÖGL H. e FLÖGL W., op. cit.

Anche questo, dunque, è un problema di difesa del suolo che impone un'attenta riflessione e un'adeguata valutazione degli impatti causati da un'eventuale, improvvisa, fermata degli impianti al fine di evitare fenomeni di immissione concentrata con accentuazione proprio di quell'inquinamento che si sarebbe voluto evitare.

3. *Laghi artificiali e assetto del territorio.* – Le enormi quantità di acqua richieste dai centri urbani, dalle aree di sviluppo industriale, dalle zone agricole per l'irrigazione, hanno imposto la realizzazione di bacini artificiali, soprattutto in mancanza di grandi falde acquifere sotterranee o di grosse emergenze naturali. E' quindi ovvio, a proposito di problemi di difesa del suolo e risorse idriche, riferirsi ai bacini di ritenuta, assai numerosi in molte parti del mondo, nonché in tutte le regioni italiane, tra cui la Sardegna, ove questo tipo di infrastruttura è vecchia ormai di oltre un secolo, visto che proprio nell'isola venne realizzato nel 1867 uno dei primi invasi artificiali (per rifornire d'acqua la città di Cagliari).

Peraltro, la costruzione di un bacino artificiale è di frequente proprio un'opera di difesa del suolo necessaria per contenere le piene improvvise dei corsi d'acqua prima che la loro furia devastatrice raggiunga le sedi più antropizzate.

La realizzazione di grandi invasi lungo i principali corsi d'acqua, se da un lato risolve alcuni problemi di degrado del suolo (a monte con l'arginamento dei fenomeni di erosione e a valle con il contenimento delle piene disastrose), dall'altro innesca nuovi problemi di dissesto, e non solo a danno del suolo.

Una delle conseguenze immediate della creazione di un lago artificiale è la trasformazione dell'ambiente nella zona dell'invaso. Ai terreni, a volte molto fertili, delle valli e delle pianure alluvionali, alimentati dalle ricariche di subalveo, si sostituisce infatti lo specchio lacustre, sommergendo totalmente o parzialmente (a seconda della profondità del bacino e dell'utilizzo delle acque) intere regioni, sempre con un considerevole consumo di spazio (26).

A questo proposito un caso assai noto, anche perché oggetto di proteste da parte degli ambientalisti, è quello della diga sul fiume Tocantins, fra le più grandi del mondo, che ha dato origine, in piena Amazzonia, al lago Tucuruí, che ha cancellato ben 2430 km² di lussureggiante foresta.

Il Tucuruí, uno dei laghi artificiali più estesi del mondo e per la cui realizzazione è stato costruito uno sbarramento lungo 7,5 km circa, ha comportato una spesa di 8000 milioni di dollari. Il dissesto ecologico appare in

(26) E' evidente che a parità di volume di acqua invasata l'ampiezza della superficie del lago dipende dalla morfologia della zona a monte della diga e il consumo di suolo sarà tanto più grave quanto più pregevole è il carattere dell'ambiente su cui insiste il lago: la sommersione di una fertile vallata creerà così più problemi all'economia di una regione di quella di un'area collinare poco fertile.

tutta la sua gravità se si pensa che prima dell'invasamento del lago, per l'allestimento del cantiere, si è reso necessario asportare circa 1000 ha di foresta che hanno prodotto il taglio di 300.000 m³ di legname. Il processo di putrefazione cui è soggetta la foresta sommersa dalle acque del lago (circa 10 milioni di alberi pari a quasi 200 milioni di t di tronchi, foglie e rami) libera gas, in particolare metano e acido solfidrico, quest'ultimo altamente corrosivo. Oltre a consumare l'ossigeno, la decomposizione del legname, che già ha provocato l'alterazione del sistema biologico, ha avuto un effetto negativo diretto proprio sullo sbarramento, in quanto occorrono notevoli capitali per evitare che l'acido solfidrico corroda le parti metalliche della diga e le dodici turbine installate per la produzione di energia idroelettrica.

Le modificazioni dell'ecosistema nella regione sono state enormi; a causa della presenza dell'acqua sono scomparsi vari mammiferi (scimmie, giaguari, formichieri); la diminuita velocità dell'acqua nel corso del fiume ha altresì provocato la sparizione di diverse specie ittiche, mentre, per contro, è aumentata la presenza di pesci predatori quali i piranha e gli jacaré (27).

Un altro dei problemi legati alla realizzazione dei laghi artificiali è quello connesso con l'impatto creato all'ambiente dall'inserimento di opere di dimensioni notevoli, che, oltre a trasformare il territorio, determinano radicali sconvolgimenti del paesaggio geografico dovuti soprattutto alla mole dei lavori strumentali (sbancamenti, movimentazione di materiali, apertura di cave di prestito, realizzazione di infrastrutture per l'approvvigionamento del cantiere e per il gettito dei calcestruzzi, deviazione provvisoria del corso d'acqua, ecc.).

Ciò è tanto più rilevante quanto più grandi sono le dimensioni dello sbarramento e del lago. Ne è un esempio significativo il Lago di Kariba, al confine tra Zimbabwe e Zambia; lo sbarramento è stato realizzato in corrispondenza della stretta dello Zambesi, in una regione di straordinaria bellezza e dagli equilibri ambientali particolarmente delicati (28). I lavori furono ostacolati da due successive piene eccezionali del fiume, di cui la seconda, catastrofica, raggiunse un valore di portata addirittura doppio di quello previsto come valore massimo nel progetto: i danni e i dissesti furono enormi soprattutto a causa dell'attività del cantiere e, in particolare, dei movimenti di terra, già attivati per la costruzione dello sbarramento (29).

(27) Oltre ai numerosi articoli apparsi su giornali e riviste specializzate, una buona sintesi dei problemi provocati all'ambiente dalla realizzazione dell'invaso di Tucuruí è quella dovuta a BIZZARRI G., *Gli alberi in fondo al lago*, in «La Nuova Ecol.», 99, Milano, 1992, pp. 45-51; ID., *La diga del disonore*, in «Geos», 2, 1993, pp. 58-66.

(28) La diga, ad arco, alta 128 m e lunga 580, con un volume di 1.125.000 m³ di calcestruzzo ha dato origine ad un estesissimo specchio d'acqua tra i più grandi del mondo, lungo 300 km e largo 30, della capacità di 185 miliardi di m³. Nell'impianto è installata, in caverna, una centrale idroelettrica con sei gruppi di generatori per una potenza totale di 6000 kW: per la sua realizzazione e per quelle delle altre opere sotterranee sono occorsi scavi per 1.200.000 m³ e calcestruzzo per 120.000 m³ (dati resi noti dall'Uff. Tecnico della IMPREGILO S.p.A.).

(29) Anche l'aspetto logistico non mancò di apportare notevoli modificazioni ambientali in quanto per il trasporto dei materiali dai punti di sbarco, lontani dalle tratte ferroviarie, oc-

E' noto che la realizzazione di un lago artificiale comporta la decantazione del trasporto solido. Questo fenomeno è dovuto a due motivi: il primo è relativo al fatto che il materiale proveniente da monte è arginato dallo sbarramento e deve decantare all'interno del bacino; il secondo è connesso con l'innalzamento della quota dell'acqua nell'invaso per cui si stabilisce un nuovo livello di base del fiume che porta ad una diminuzione dell'energia erosiva e della capacità di trasporto. Sono frequenti i casi di bacini artificiali realizzati in funzione di difesa del suolo per bloccare il trasporto dei detriti e dei materiali in sospensione a valle; per contro, a volte, proprio l'arginamento del trasporto solido provoca nuovi problemi a causa di trasformazioni ambientali che possono comportare anche effetti economici di rilievo a carico dell'intero territorio.

E' evidente che, oltre a creare problemi a valle della diga, il carico dei materiali solidi che confluisce in un lago artificiale genera non poche preoccupazioni per la vita del lago stesso. I sedimenti in arrivo all'interno del bacino possono ridurre progressivamente la capacità del lago anche perché la velocità di interrimento dipende dalle caratteristiche del bacino imbrifero sotteso e da un insieme di fattori geografici tra cui il grado di copertura forestale, l'evoluzione e la stabilità geomorfologica, l'intensità di antropizzazione, le condizioni climatiche. Importanti, al riguardo, risultano pertanto la valutazione e la previsione del fenomeno in base al progetto preliminare di massima da cui dipende la realizzazione dell'invaso. E' ovvio che non sempre un problema di questo tipo è di facile soluzione poiché il grado di erosione e di trasporto dei detriti varia notevolmente da una regione all'altra e sono scarsi i risultati empirici a disposizione, nonostante esistano diverse metodologie per un calcolo teorico di previsione (30).

Il New Lake Austin, sul fiume Colorado, a causa della velocità di sedimentazione all'interno del bacino, in tredici anni ha perduto oltre il 95% della sua capacità di ritenuta; la diga Anchicaya, nella Colombia, in soli nove anni ha perso ogni possibilità di utilizzo vanificando, quindi, le finalità per le quali era stata costruita, tra cui l'uso idroelettrico (31).

corsero nuove strade che dovettero attraversare regioni ancora vergini sotto il profilo ambientale. Cfr. LODIGIANI G., *Costruzioni all'estero. Settore Africa*, in *Cinquant'anni di ingegneria italiana dell'acqua*, a cura dell'ASS. IDROTECNICA ITALIANA, L'Aquila, Japadre, 1981, pp. 413-436; v. p. 431.

(30) Tra i più noti a livello internazionale si può citare il metodo a curve di inviluppo di Brune, mentre a livello nazionale si può segnalare il metodo elaborato recentemente per la stima previsionale del volume di interrimento dei serbatoi siciliani. Cfr.: BRUNE G.M., *Trap Efficiency of Reservoirs*, in «Transactions», n. 39, 1953; CANNAROSSO M. e FERRO U., *Il problema dell'interrimento dei serbatoi artificiali*, in «Idrotecnica», 5, 1988.

(31) Un altro esempio: la diga di Cachi, in Costa Rica, costruita 25 anni fa, a seguito del rapido interrimento del serbatoio (che non era stato assolutamente previsto) per cui è venuta a mancare ogni possibilità di impiego dell'acqua, ha determinato un danno economico valutato intorno ai 250-280 milioni di dollari. Cfr. NATTONS J. e LEONARD H.J., *Grounds of Conflict in Central America*, in *Bordering on Trouble: Resources and Politics in Latin America*, a cura di MAGUIRE A. e WELSH BROWN J., Bethesda, Adler and Adler Inc., 1986.

Ma se, arginando i trasporti solidi, i laghi artificiali possono ridurre i danni e i dissesti a valle in caso di piene eccezionali e improvvise, sovente proprio il mancato apporto dei materiali solidi priva le aree terminali, e in specie le zone deltizie, di quel fertile strato di limo su cui molti popoli, da tempi antichissimi, hanno basato la loro economia vitale.

Infatti, sono proprio gli interventi volti a razionalizzare l'utilizzo delle risorse, come ad esempio favorire meglio le pratiche irrigue, a causare scompensi e sconvolgimenti ambientali tali da compromettere, in alcuni casi, i benefici che invece avrebbero dovuto apportare. Non si può non parlare, a questo proposito, dell'Egitto, e del rapporto tra questo paese e il Nilo, ove già dai tempi dei Faraoni furono predisposte opere volte allo sfruttamento a fini irrigui delle acque fluviali; sfruttamento che, con alterne vicende, tra opere progettate, finalmente realizzate e successivamente ampliate, è proseguito dopo che l'importanza della regolazione idraulica delle acque del fiume era già stata ampiamente riconosciuta.

«La storia degli sbarramenti sul Nilo comincia con i programmi formulati dall'Institut d'Égypte, di ispirazione bonapartista», di cui era vicepresidente lo stesso Napoleone (32); sul piano operativo, il primo provvedimento è dovuto invece a Mohamed Ali a seguito delle disposizioni impartite nel 1833 per la realizzazione degli sbarramenti di Damietta e Rosetta, i due rami terminali del fiume che collegano il basso corso del Nilo con il Mediterraneo. Questi sbarramenti non vennero mai realizzati nel luogo ove erano stati previsti per diversi motivi (tra cui le notevoli difficoltà tecniche incontrate durante l'avvio dei lavori); tuttavia, a seguito di modifiche progettuali, all'inizio del '900 le prime opere idrauliche moderatrici poterono entrare in funzione.

Le due traverse su Rosetta e Damietta, note come «dighe del delta», rappresentarono le principali opere idrauliche sul Nilo (33) culminate, nel 1964, con l'inaugurazione dell'Alta diga di Assuan la quale, sostituendosi a quella eretta più a valle, rappresenta l'opera più grandiosa realizzata in Africa.

Se è vero, come è stato osservato, «che l'ecumene "Egitto" resta [...] il Nilo» (34), è anche vero che il grande lago voluto per garantire la sopravvivenza delle popolazioni del Basso Egitto attraverso la regolazione delle sue acque, in quanto doveva consentire oltre all'estensione «orizzontale» delle superfici irrigate anche quella «verticale» al fine di aumentare la resa dei fertili territori del delta e della media valle, non ha di fatto permesso di addivenire ai risultati attesi, fulcro, peraltro, della politica economica che dove-

(32) MODUGNO G., *L'Alta diga di Assuan*, in «Boll. Soc. Geogr. Ital.», Roma, 1970, pp. 445-488; cfr. p. 447.

(33) La letteratura specializzata sul tema delle opere di regolazione idraulica del Nilo è assai ricca. Per un eventuale approfondimento si rimanda a SINISCALCHI C., *Le grandi opere irrigue dell'Egitto*, in *L'acqua nell'agricoltura, nell'igiene e nell'industria*, Roma, 1963.

(34) MANZI E., *Egitto rurale e urbano tra congestione insediativa e sottosviluppo*, in «Riv. Geogr. Ital.», Firenze, 1982, pp. 54-101; cfr. p. 55.

va segnare la rinascita e l'avvenire della nuova Repubblica Araba Unita, tanto cara al presidente Nasser (35).

Già un decennio addietro i geografi avevano osservato che la creazione del Lago Nasser, in Nubia, aveva sortito effetti contrastanti, la cui completa validità sarebbe ancora da dimostrare (36).

Questo concetto, particolarmente importante ai fini del presente lavoro, denota come gli effetti negativi provocati dall'utilizzo delle risorse idriche siano già stati rilevati anche se in forma frammentaria e spesso occasionale. La considerazione riferita ad un fiume storicamente e geograficamente emblematico per quanto riguarda il rapporto acqua-territorio offre lo spunto per sottolineare l'opportunità di esaminare più puntualmente e con i dovuti approfondimenti quegli effetti negativi provocati appunto dall'utilizzazione delle risorse idriche sul suolo e sull'ambiente in generale.

Numerose sono le situazioni di impatto provocate dalla realizzazione dell'Alta diga (37), tra cui, oltre alle trasformazioni ambientali dell'area direttamente interessata dall'invaso (38), il mancato apporto dei sedimenti che ha causato il regredire del delta (39).

Prima della realizzazione della diga, i fanghi deltizi tendevano infatti ad avanzare in continuazione verso il mare anche se rispetto al passato, allorché il Nilo contava almeno sei ramificazioni, si registrava una maggiore

(35) Per un'ulteriore ed esauriente rivisitazione delle problematiche affrontate durante la storia della regolazione idraulica del Nilo, fino al 1968, anno in cui si può considerare entrata in esercizio la diga di Assuan, si rimanda a MODUGNO G., *L'Alta diga di Assuan*, cit., ed al suo ricco corredo bibliografico. Per un inquadramento delle vicende sociali ed economiche della storia recente ed attuale dell'Egitto, e dell'annosa e appassionante lotta del popolo egiziano teso ad assicurarsi la sopravvivenza cercando di conquistare nuove terre irrigue a spese delle acque del suo fiume si veda invece MANZI E., op. cit., cui si rimanda anche ai fini della conoscenza delle risorse agricole del nuovo Egitto, soprattutto a seguito dell'esplosione demografica iniziata dopo la seconda guerra mondiale che ha avuto proporzioni drammatiche se raffrontata alla possibilità di sopravvivenza offerta dalle condizioni mutevoli del paese.

(36) MANZI E., op. cit., p. 62. Si veda anche BELLEZZA G., *Problemi di razionalità nell'esportazione delle tecniche di sviluppo agricolo in regioni semiaride*, in FAGGI P. (a cura di), *Problemi e prospettive di sviluppo delle terre asciutte nel Terzo mondo*, «Quaderni Dip. di Geogr. dell'Univ. di Padova», Padova, 1986, pp. 77-90.

(37) E' noto che l'Alta diga di Assuan ha dato origine ad un lago della lunghezza di circa 416 km con due sezioni dette Lago Nasser in Egitto e Lago Nubia in Sudan. A livello di piena la diga dovrebbe contenere una massa d'acqua pari a 132.500 milioni di m³ d'acqua coprendo una superficie di circa 5000 km² (FELS E., *Die flächenfrösten Strauseen der Erde*, in «Naturwissenschaftliche Rundschau», Stoccarda, 1969, pp. 467 e 468).

(38) E' anche il caso di ricordare che l'utilizzo delle acque che sarebbero state regolate dall'invaso dell'Alta diga ha dato corso a contrasti e tensioni politiche tra Egitto e Sudan successivamente sanate attraverso un accordo per la spartizione delle portate utilizzabili. Cfr. MODUGNO G., *L'Alta diga di Assuan*, cit, pp. 455-461.

(39) LATIF A.F.A., *Lake Nasser. The New Man-Made Lake in Egypt (With Reference to Lake Nubia)*, in «Managed Aquatic Ecosystem», a cura di GEORG M.R., *Ecosystems of the World*, 29, Amsterdam., Elsevier, 1987, pp. 385-410; cfr. p. 404.

concentrazione intorno agli sbocchi di Rosetta e Damietta (40). E' stato rilevato che dal 10 al 15% del carico sospeso annuale, stimato in prossimità di Assuan pari a circa 130 milioni di t (41), andava a deporsi nelle aree di irrigazione dell'Alto Egitto, a monte del Cairo. La stessa quantità era distribuita sui terreni agricoli del delta, a valle del Cairo, mentre una parte di sedimenti veniva depositata direttamente in mare. La costruzione della diga di Assuan e della diga del delta (realizzata in corrispondenza della diramazione di Rosetta e Damietta) ha trasformato i tratti inferiori del Nilo in zone interessate solo da acqua salata mentre le sabbie e i fanghi del fronte del delta non sono più alimentati dal fiume. Da ciò è derivato un approfondimento per diversi chilometri del fondo marino a nord della foce, che ha causato un incremento graduale del flusso dell'energia d'onda sulla linea di costa, provocando altresì un aumento dell'entità dell'erosione costiera che in alcune zone ha raggiunto i 200 m all'anno (42). Non pochi problemi sta ponendo anche il veloce interrimento cui è assoggettato il bacino artificiale. Negli anni successivi alla costruzione della diga, infatti, man mano che il livello dell'acqua aumentava, l'area interessata dagli apporti delle torbide si è gradualmente ridotta arretrando verso sud e oggi appare confinata alla porzione più meridionale del bacino (43). Dagli anni '70 questi depositi si verificano soltanto nella parte più meridionale del lago poiché il carico di materiali solidi sospesi diminuisce da sud a nord a causa della sedimentazione delle varie componenti granulometriche lungo il corso del fiume, nel quale avviene una sorta di naturale classazione dei materiali (44).

Il danno provocato ai terreni dal mancato apporto del limo a valle della Alta diga è stato stimato dalle autorità egiziane pari a 230.000 lire egizie an-

(40) La costruzione dei primi sbarramenti sul Nilo, nel decennio tra il 1880 e 1890, ha ridotto enormemente le quantità di sedimenti che arricchivano il delta e la situazione è ulteriormente peggiorata nel 1902 dopo l'erezione della diga di Assuan e il suo ampliamento nel 1934. Da allora, la deviazione dei corsi d'acqua a scopo irriguo e le opere di risanamento dei terreni hanno prosciugato numerosi affluenti del Nilo, riducendo fortemente la portata del fiume. (JACOBSON J.L., *Controllare il livello del mare*, in *State of the World 1990*, cit., pp. 133-162; cfr. p. 152).

(41) MODUGNO G., *L'Alta diga di Assuan*, cit., p. 472.

(42) BROADUS J. e altri, *Rising Sea Level and Damming of Rivers: Possible Effects in Egypt and Bangladesh*, in *Effects of Changes in Stratospheric Ozone and Global Climate*, vol. IV, *Sea Level Rise*, a cura di TITUS J.G., Washington, EPA, 1987.

(43) Per questi ed altri aspetti illustrati più avanti si vedano: ABOUL-ATA A.A., *Egypt and the Nile After the High Dam*, Il Cairo, Ministry of Irrigation and Land Reclamation, 1978, pp. 145; ABUL-HAGGAG Y., *Pattern of Sedimentation in the Aswan High Dam Lake*, in LATIF A.F.A., *Report on Survey to Lake Nasser*, in «Lake Nasser and River Nile Project», Il Cairo, Acad. Sc. Res. Technol., 1977, pp. 272-286; BERG L., *The Aswan Dam and its Various Consequences*, in «Symposium on Nile Water and Lake Dam Projects, Egypt», 4, 1976; MANCY K. H., *The Environmental Impacts of the Aswan High Dam*, in «Proc. Int. Symp., Environmental Effects of Hydraulic Engineering Works», Knoxville, Tenn., Tennessee Valley Authority, 1978, pp. 422-434.

(44) RAU, *Annuaire 1959*, Il Cairo, 1960, p. 237.

nue: questa cifra (riferita a valori di trent'anni addietro) era stata ritenuta insignificante rispetto ai benefici che sarebbero dovuti derivare dalla realizzazione dell'invaso artificiale. Al riguardo non si può non tener conto delle difficoltà incontrate per realizzare tutti gli impianti di distribuzione a valle al fine di verticalizzare l'espansione dell'irrigazione per aumentare la produttività annua dei suoli. Se si tiene conto che, a seguito dell'esplosione demografica che ancor oggi continua ad un ritmo di quasi 1.000.000 di unità ogni 8-9 mesi circa, cui fa riscontro un rilevante aumento dei fabbisogni idrici e alimentari (45), allora i dubbi e i problemi sulla utilità e sui reali benefici di un'opera di così vasto impegno come la grande diga permangono tutti. Peraltro, l'introduzione nella zona del delta del sistema di irrigazione perenne, succeduto all'invasamento dell'Alta diga, ha comportato sia una notevole perdita di acqua per evaporazione, con fenomeni assai spinti di salinizzazione dei suoli, sia la diffusione di un parassita che alligna nel fango e nelle alghe dei canali e che trasmette all'uomo la bilharziosi, malattia che colpisce il 60% della popolazione rurale (46). Il nuovo sistema di utilizzo delle acque del Nilo ha inoltre aggravato notevolmente le condizioni di lavoro dei contadini, che non possono più concedersi quei periodi di riposo coincidenti in passato con la stagione delle piene (47).

A questi aspetti negativi legati all'utilizzazione delle risorse del Nilo occorre aggiungere anche qualche altra considerazione di tipo storico-sociale. E' noto, infatti, come l'invasamento del lago artificiale abbia destato una notevole apprensione nel mondo culturale per la sommersione di una regione archeologica tra le più interessanti dell'Africa. Purtroppo, all'inizio dell'invasamento della diga le esplorazioni archeologiche non erano state ancora completate: di conseguenza nessuno saprà quali informazioni e quali ricchezze storiche siano andate sommerse; e molte saranno ancora sepolte sotto gli apporti solidi del Nilo rendendo ancora più arduo un loro eventuale recupero (48). Il fatto che grazie alla collaborazione delle comunità scientifiche internazionali attivate dall'UNESCO, che aveva raccolto l'appello lanciato dai governi egiziano e sudanese, sia stato possibile spostare e ricostruire altrove alcuni monumenti, pone ugualmente problemi di grande impatto negativo a carico dello sbarramento realizzato sul Nilo. Dal punto di vista sociale sono inoltre da evidenziare i problemi causati dal coatto trasferimento di oltre 100.000 persone, in merito al quale il Governo egiziano è

(45) STARR J.R. e STOLL D.C., *U. S. Foreign Policy on Water Resources in the Middle East*, Washington, Center for Strategic and International Studies, 1987.

(46) MODUGNO G., *L'Alta diga di Assuan*, cit., p. 483.

(47) Com'è noto, il Corano prevede per il contadino il riposo settimanale del venerdì e la legislazione egiziana, pur avendo disciplinato la durata della prestazione d'opera dei lavoratori subordinati, nel settore agricolo ha inevitabilmente incontrato dei limiti nell'applicazione nei confronti dei lavoratori. Cfr. BADAoui A., *L'influence des Conventions internationales du travail sur la législation de la R.A.U.*, in «L'Égypte Contemporaine», 330, Il Cairo, 1967, pp. 51-72, v. p. 62.

(48) GAUDIO A., *I templi della Nubia sommersa*, in «L'Universo», Firenze, 1966, pp. 707-734.

stato impegnato a lungo nella capillare opera di convincimento con il soccorso anche del Programma Mondiale per l'Alimentazione (49).

Legato direttamente allo sfruttamento delle risorse idriche di invaso vi è un altro aspetto non trascurabile di degrado ambientale che provoca dissesti e richiede quindi interventi finalizzati di difesa del suolo: l'instabilità della zona di costruzione della diga o delle aree interessate direttamente dall'invaso.

Frequenti sono, infatti, i franamenti che si verificano lungo le sponde dei laghi artificiali, dovuti alle variazioni dello stato idraulico dei terreni, ai cui effetti si ovvia con rilevanti interventi di arginamento dai costi sempre elevatissimi (50).

Tra le forme di erosione del suolo che possono provocare situazioni a rischio la più rilevante per l'uomo deriva direttamente dal crollo dello sbarramento; la causa è dovuta in questo caso soprattutto ad eventi naturali di tipo endogeno come i terremoti, oppure di tipo esogeno (movimenti franosi, passaggi d'acqua sotto le strutture di fondazione, ecc.). Le alluvioni catastrofiche sono infatti spesso causa di violente ondate di piena cui nulla può resistere, soprattutto se tale evento non è stato previsto, in sede di progettazione, nella sua interezza (51).

In Italia è conosciuto il caso della frana del Monte Toc, dell'ottobre 1963, abbattutasi all'interno dell'invaso del Vajont. Com'è noto, la massa litoide ha indotto un'ondata che ha scavalcato la diga rovinando a valle e distruggendo diversi insediamenti, tra cui il centro abitato di Longarone, con il grave bilancio di perdite umane di oltre 2100 persone. Più di recente, il 19 luglio 1985, il disastro causato dal cedimento di due bacini di decantazione della Val di Stava, nelle Dolomiti, collegati con una miniera di fluorite, ha provocato 264 morti. La diga di Saint Francis, vicino a Los Angeles, è crollata appena due anni dopo la sua ultimazione liberando improvvisamente oltre 46.000.000 di m³ di acqua in un'onda di 10-14 mila m³/s, che travolse alcuni insediamenti e uccise oltre 500 persone (52).

(49) MODUGNO G., *L'Alta diga di Assuan ed i problemi dello sviluppo economico della R.A.U.*, in «Civitas», Roma, 1971, pp. 57-81.

(50) Opere di difesa e consolidamento del suolo rilevanti sono state predisposte, ad esempio, nel caso delle dighe di Keban, in Turchia, lungo il corso dell'Eufrate. La presenza di fenomeni carsici proprio nella zona di imposta delle fondazioni ha comportato opere di consolidamento che richiesero il gettito di oltre 250.000 m³ di calcestruzzo per il riempimento delle cavità, la realizzazione di 310.000 m di fori di iniezione e l'impiego di 47.000.000 di t di cemento (cfr. LODIGIANI G., op. cit. p. 422).

(51) E' noto, ad esempio, il caso della diga di Auburn, nella California, danneggiata seriamente, mentre era in costruzione, da un terremoto avvenuto nel 1975 con epicentro a 80 km dalla zona di imposta, il cui sbarramento ha dovuto subire modifiche al progetto originario proprio per tenere conto di questo gravissimo rischio. Di recente, nel 1979, la diga di Machu, in India, venne investita da un'onda di piena che ne determinò il crollo ad appena un anno dalla sua ultimazione, con diverse migliaia di vittime.

(52) E' stato successivamente accertato che nella zona di imposta passava una faglia dove l'acqua si infiltrava lentamente fino a sottoscavare il terreno di fondazione, per cui il crollo fu

Tra le conseguenze negative dello sfruttamento delle risorse idriche (53) va annoverata l'attivazione di fenomeni di assestamento del sottosuolo, in quanto l'accumulo di una rilevante massa liquida in presenza di faglie può provocare fenomeni di riassetamento e di riequilibrio originando, conseguentemente, azioni geodinamiche di tipo sismico (54).

Un ulteriore problema legato ai prelievi di acqua con la realizzazione di bacini artificiali o di traverse e derivazioni è quello relativo all'impoverimento delle falde di subalveo alimentate direttamente dalle perdite lungo il letto del fiume ed alla trasformazione, sovente radicale, degli habitat lungo l'alveo. L'impoverimento degli apporti naturali che privano di ricarica le falde di subalveo causano notevoli danni ai sistemi economici impiantati nelle valli terminali dei corsi d'acqua e nelle pianure alluvionali. Tale fenomeno è assai frequente in numerosi paesi (55). Per l'Italia si può ricordare il caso

improvviso. Ugualmente a causa della presenza di faglie nella zona di imposta della diga, il cui cedimento però è stato accentuato dalla subsidenza provocata dalla estrazione di petrolio, è crollata la diga di Baldwin Hills, in prossimità di Los Angeles; una delle faglie che attraversano il sito si era comunque mossa precedentemente durante il terremoto di Long Beach del 1933. L'elenco dei danni e degli effetti negativi di erosione del suolo, provocati dall'acqua invasata nei bacini artificiali a causa del crollo degli sbarramenti, potrebbe continuare ancora. Si rimanda, per un eventuale approfondimento, alla tab. 40 (p. 169) del lavoro di ALEXANDER D.E., *Calamità naturali*, Bologna, Pitagora, 1990.

(53) ALEXANDER D.E., op. cit., pp. 170 e 171.

(54) Esempi di questi casi sono stati registrati spesso in diversi paesi; il riempimento della diga di Hoover, sul fiume Colorado, ha causato una serie di circa 600 terremoti con una magnitudo massima di 5,0. Il Lago di Koyna in India, che aveva una capacità di quasi 3 miliardi di m³ di acqua, invasato da appena 5 anni, originò un terremoto di magnitudo 6,2 causando 177 morti e oltre 1500 feriti. Un altro esempio è quello relativo alla diga di Norman, nella valle di San Fernando (California). Cfr. ALEXANDER D.E., op. cit., pp. 170 e 171; WALKER B. e altri, *Earthquake*, Time-Life Books Inc., 1982 (trad. ital., Milano, Mondadori, 1984).

(55) A proposito degli impatti sull'ambiente fisico e biologico causati dal prelievo di acque dalla loro riserva naturale e dal loro trasferimento verso aree precedentemente asciutte, sono state già osservate modificazioni del sistema idrologico complessivo che si manifestano sia nelle zone di prelievo, sia nelle zone cui è destinata l'acqua prelevata che nelle aree adiacenti: il prelievo d'acqua da un corso fluviale causa la riduzione del deflusso a valle (particolarmente durante la stagione asciutta) che si traduce in un nuovo bilancio d'erosione (luoghi e modalità dell'erosione, del trasporto e della deposizione dei sedimenti). La riduzione del deflusso può anche deteriorare la qualità dell'acqua nelle sezioni terminali del fiume, permettendo l'ingressione di acqua salina a partire dalla foce. Anche la costruzione di un bacino artificiale per immagazzinare e regolare le portate, pur rivolta essenzialmente al conseguimento di finalità positive, porta a rilevanti mutamenti ambientali. Possiamo ricordare i cambiamenti nei parametri delle acque defluenti (trasporto solido, temperatura, salinità, ecc.) e l'azione combinata dell'infiltrazione e della percolazione, che può portare alla saturazione idrica delle terre a valle. Non sono poi da trascurare la distruzione degli ecosistemi presenti nelle zone inondate dall'innalzamento della diga e le variazioni ittiche che si presentano nelle acque dove il fiume va a sfociare. Queste considerazioni sono state troppe volte trascurate in occasione della progettazione di grandi bacini artificiali, troppo esclusivamente concentrata sull'analisi degli effetti economici diretti (RUDDLE K. e MANSHARD W., *Renewable Natural Resources and the Environment*, 1981; ediz. ital. a cura di FAGGI P., *Ambiente e Sviluppo nel terzo mondo. Il problema delle risorse rinnovabili*, Milano, UNICOPI, 1986, p. 166).

del Flumendosa, in Sardegna, dove la realizzazione di grandiosi sistemi di sbarramento sull'alto e medio corso ha creato gravi problemi di approvvigionamento agli impianti irrigui presenti nella bassa valle, l'unica pianura di importanza agricola nella Sardegna sud-orientale (56).

Questo problema purtroppo è risolvibile solamente con una limitazione della capacità di ritenzione dell'acqua, ossia regolando prelievi e predisponendo una modulazione dei rilasci durante l'anno (57).

Un danno sensibile agli ecosistemi di ripa, che conferisce alle sponde un aspetto brullo, più o meno gradato e comunque sempre soggetto ad un certo impatto paesaggistico, è dovuto alle periodiche oscillazioni del livello dell'acqua dei laghi artificiali normalmente legate all'intensità di utilizzazione ed all'irregolarità degli apporti stagionali.

La ritenzione delle acque nei bacini provoca anche la trasformazione radicale dei sistemi ecologici presenti a valle in prossimità degli alvei. Questo tipo di degrado si manifesta nella quasi totalità dei corsi d'acqua interessati da opere di regolazione idrica.

Nel caso degli sbarramenti utilizzati per la produzione di energia idroelettrica si assiste anche ad un altro fenomeno: le acque, deviate all'interno delle condotte forzate e fatte defluire molto più a valle, provocano ulteriori e più intense modificazioni ambientali rendendo ancora più marcato il processo di erosione del suolo. E' il caso di un lungo tratto a valle della centrale sul Coghinias, alla stretta di Muzzone, nella Sardegna settentrionale (58).

Un ulteriore aspetto negativo legato alla realizzazione degli invasi artificiali è quello relativo ai cosiddetti disordini idraulici (59) provocati a carico delle acque sotterranee, in genere più difficilmente controllabili rispetto alle acque superficiali.

In diverse situazioni le dighe di sbarramento vengono costruite appositamente per proteggere le aree di bassopiano dalle piene che possono segui-

(56) MASSOLI NOVELLI R., *Parametri «geologici» per la valutazione dell'impatto ambientale di alcuni invasi in Sardegna*, in «Geol. Tecnica», Roma, 4, 1988, pp. 30-39.

(57) Per quanto riguarda le opere di presa da corsi d'acqua, secondo alcuni studiosi italiani, si potrebbero adottare interventi tendenti a ridurre gli effetti dannosi. In particolare, vengono proposti interventi quali rilasci durante tutto l'anno (6-8 % della portata media annua), rilasci programmati (durante la manutenzione delle prese), limitazione o annullamento della captazione delle acque di subalveo per le opere di presa che sorgono su importanti coltri di materiali sciolti. Allo stato attuale non esiste, purtroppo, apposita e adeguata normativa salvo qualche eccezione come il DPR 11 aprile 1986 di esecutività del Piano generale per l'utilizzazione delle acque pubbliche della provincia di Bolzano; questa norma impone apposite prescrizioni tendenti ad evitare il prosciugamento totale degli alvei. Cfr. GISOTTI G. e BRUSCHI S., *Valutare l'ambiente*, Roma, NIS, 1990, p. 166.

(58) Questi fenomeni erano già stati segnalati per il lago Coghinias (Sardegna settentrionale) come esempio di modificazione ambientale prodotta dalla presenza di un lago artificiale. Cfr. SCANU G., *Le modificazioni geografiche successive alla realizzazione del lago Coghinias (Sardegna settentrionale)*, in *La Sardegna nel mondo mediterraneo*, 1, *Gli aspetti geografici*, a cura di BRANDIS P., Sassari, Gallizzi, 1981, pp. 213-250.

(59) GISOTTI G. e BRUSCHI S., op. cit., p. 161.

re eventi piovosi eccezionali; in questo caso le dighe si configurano come vere e proprie opere di difesa del suolo poiché svolgono un importante ruolo di regolazione del regime di un corso d'acqua. Si può fare, a questo proposito, l'esempio della Sardegna, la regione italiana in cui le forme di erosione e trasporto del suolo sono più limitate rispetto alle altre. L'isola può infatti vantare due dighe già realizzate con obiettivi mirati esclusivamente alla difesa del suolo: la diga sul basso corso del Temo (in provincia di Nuoro) e quella sul rio Mogoro in provincia di Oristano (60).

Come si può osservare, la realizzazione delle opere per la regolazione delle acque fluenti, e quindi l'utilizzo da parte dell'uomo di questo tipo di risorsa, determina non poche situazioni e tipologie di degrado dell'ambiente e di dissesto generalizzato del territorio: squilibri che, il più delle volte, sono da collegarsi con una poco attenta valutazione degli impatti derivati dalle nuove infrastrutture. La pericolosità ambientale causata dalla risorsa acqua è quindi un elemento connesso soprattutto con una non razionale pianificazione delle opere, piuttosto che con un'intrinseca caratteristica della risorsa: pericolosità che annulla il beneficio derivante dall'utilizzo di una risorsa, poiché l'acqua, in questo caso, se viene a mancare la valutazione complessiva delle caratteristiche del territorio, può comportare conseguenze negative proprio quando si verifica la trasformazione da bene potenziale a bene reale.

Pertanto, i problemi di difesa del suolo relativi all'arginamento di questi dissesti possono determinare, in qualche occasione, conseguenze così rilevanti e gravi da vanificare parzialmente o anche totalmente l'effetto positivo della risorsa. Inoltre, una non accorta previsione dei fenomeni di degrado e di difesa del suolo può comportare perdita di valore dell'opera dal punto di vista economico allorché, ad esempio, l'interrimento veloce del bacino in un lago artificiale rende la struttura inutilizzabile o sottoutilizzata.

4. *Acque sotterranee e difesa del suolo.* – In questi ultimi anni si è registrato un interesse crescente verso lo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee, il che ha aumentato la portata dimensionale del problema della difesa del suolo. Si è così determinato un ulteriore e nuovo elemento di pericolosità ambientale, in taluni casi di notevole rilievo, evidenziando ulteriormente il modo problematico in cui oggi è vissuto il rapporto risorse idriche-territorio.

E' noto, infatti, che la sottrazione dell'acqua dagli interstizi delle formazioni rocciose sciolte, come i depositi alluvionali, deltizi, lacustri, ecc., provoca un compattamento naturale del terreno che si traduce in un abbassamento della superficie, originando il fenomeno della subsidenza. L'abbassa-

(60) Attualmente si ha in animo la realizzazione di un'altra serie di sbarramenti sul basso corso del Flumendosa e dei suoi affluenti della parte terminale, per difendere la piana di Muravera e Villaputzu dalle disastrose alluvioni, causa, sovente, di perdite di vite umane oltre che di rilevanti danni all'economia agricola della zona ed alle infrastrutture.

mento del suolo può provocare gravi problemi alle popolazioni se le aree in cui esso si manifesta sono fortemente popolate e urbanizzate, sconvolgendo gli assetti del territorio e determinando, talvolta, anche la perdita di ampie fette di terre emerse affioranti lungo fasce costiere sabbiose o sui delta di importanti fiumi. La subsidenza, dovuta sia a cause naturali che artificiali, ed in particolare all'estrazione di corpi fluidi dal sottosuolo, viene ad assumere gravità soprattutto nelle aree di pianura ed in special modo in quelle terminali dei corsi d'acqua, là dove gli insediamenti umani si trovano sovente a quote di poco superiori al livello massimo delle acque marine o al tetto del livello statico delle falde freatiche. Non è raro il caso di una concomitanza tra cause naturali ed artificiali, come, ad esempio, in alcune zone della Pianura Padana o degli Stati Uniti.

Gli studiosi sono concordi nell'attribuire l'incremento notevole della velocità di subsidenza, registrato in questi ultimi decenni in alcune aree a rischio, a interventi collegati direttamente all'attività antropica ed in particolare all'estrazione dal sottosuolo di acqua o, più in generale, di fluidi, anche gassosi (61).

Mentre i fenomeni di subsidenza per cause naturali sono noti già dalla metà del secolo scorso, tanto che, ad esempio, il decadimento e la scomparsa della città di Paestum fu attribuita specificatamente all'abbassamento della Piana del Sele, quelli dovuti a cause artificiali ed in particolare connessi con l'emungimento delle falde acquifere, sono assai recenti. In alcune regioni dell'Asia monsonica, ad esempio nel delta del Gange, i fenomeni di subsidenza destano notevole preoccupazione per la sopravvivenza di città e popolazioni.

I più significativi verificatisi in questo secolo sono stati attribuiti dagli studiosi «senza tema di errore» (62) ai vistosi pompaggi di acqua dal sottosuolo, com'è stato riscontrato per alcuni casi tra quelli più conosciuti e di cui esiste una ricca documentazione bibliografica.

A Città di Messico, ad esempio, dal 1891 al 1959 sono stati registrati abbassamenti medi del suolo di 10 cm all'anno con punte massime, tra il 1948 e il 1952, di 30 cm all'anno. A Debrecen, in Ungheria, dal 1927 al 1966 si sono avuti fenomeni di subsidenza del valore di 1 mm all'anno su un'area di circa 400 km². In Giappone, a Osaka, su una superficie di circa 400 km², dal 1935 al 1968, gli abbassamenti registrati hanno dato valori medi di 8 cm all'anno; a Tokyo, su circa 300 km², i valori medi misurati dal 1938 al 1959

(61) Giustamente, tra le cause che dipendono direttamente dall'azione dell'uomo è stata riconosciuta «la soluzione di sostanze inorganiche per l'irrigazione dei terreni agricoli, il carico di edifici di notevole peso o bonifiche per colmata; l'abbassamento del pelo libero delle acque freatiche per captazione delle medesime o per opere di bonifica idraulica; la depressione di falde acquifere in pressione per estrazione di acque artesiane; la depressurizzazione di adunamenti di idrocarburi; la creazione di cavità artificiali nel sottosuolo per lavori minerari» (IPPOLITO F., *La subsidenza di Ravenna*, in «Le Scienze», 99, Milano, 1976, pp. 104-111; cfr. p. 105).

(62) IPPOLITO F., op. cit., p. 106.



FIG. 2 – DISTRIBUZIONE GEOGRAFICA DELLE PRINCIPALI AREE INTERESSATE DALLA SUBSIDENZA ARTIFICIALE NEGLI STATI UNITI.

sono stati di 8-12 cm all'anno; nella piana di Shiroishi, su 88 km², la subsidenza misurata è dell'ordine di 10-20 cm annui. Nel bacino di Taipei (Formosa), l'abbassamento rilevato raggiunge valori fino a 30 cm all'anno su una superficie di 125 km² (63).

Non è un caso, comunque, che la subsidenza riguardi soprattutto le regioni caratterizzate da depositi di tipo alluvionale capaci di contenere consistenti strutture acquifere ed estesi giacimenti di idrocarburi. La subsidenza è proprio il fenomeno che precede il consolidamento, la litificazione dei materiali sciolti allorché l'acqua viene espulsa dai pori e si verifica una contrazione, un assestamento strutturale che può avvenire solo in senso verticale, «subsidente» per l'appunto.

I delta dell'India e la Pianura Padana sono classici esempi di aree subsidenti interessate da coltri di tipo alluvionale. Negli Stati Uniti, dalla Georgia

(63) Per un approfondimento di questi argomenti si rimanda a: AA. VV., *Land Subsidence*, in «Proceedings of the Tokyo Symposium on Land Subsidence», UNESCO, 1969; POLAND J.F. e DAVIS G.H., *Land Subsidence due to Withdrawal of Fluids*, in «Rev. Engineering Geol.», V, II, 1969.

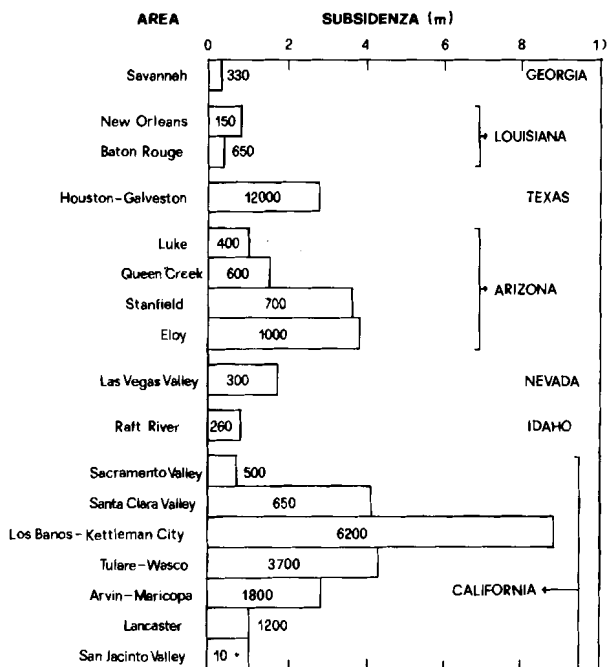


FIG. 3 - ABBASSAMENTO DEL SUOLO E AMPIEZZA (in km²) DI ALCUNE AREE SUBSIDENTI DEGLI STATI UNITI.

al Texas la subsidenza causata dall'emungimento dell'acqua si verifica in depositi di piana costiera e di mare basso, mentre dall'Arizona alla California si manifesta principalmente nei depositi di pianura alluvionale (64). Particolarmente noti sono appunto i casi verificatisi negli Stati Uniti (65).

La California è lo Stato maggiormente colpito dal fenomeno, sia per l'ampiezza della superficie coinvolta sia per i valori massimi dell'abbassamento (nella zona di Los Banos-Kettleman City, su un'area di 6200 km², si sono registrate punte superiori agli 8 m). In totale, la superficie statunitense interessata da fenomeni di subsidenza è di 33.450 km². Di questi, 14.060, pari al 42,45%, sono relativi alla sola California, 12.000 (35,87%) interessano

(64) POLAND J.F., *Subsidence due to Ground Water Withdrawal*, in "Journ. of the Irrigation and Drainage Division" 107 (IR2), ASCE, 115, 1981, pp. 272-285, p. 274.

(65) La fig. 2 mette in evidenza la distribuzione geografica delle principali aree interessate dai fenomeni di subsidenza. Nella fig. 3, sono riportati i valori di subsidenza raggiunti nelle singole aree, raggruppate per Stato; il valore numerico riportato all'interno della colonna è riferito, invece, alla superficie interessata dal fenomeno, espressa in km².

l'area di Houston-Galveston nel Texas, e 2700 km² (8,07%) riguardano l'Arizona. Evidentemente il fenomeno ha fatto registrare una diversa evoluzione a seconda delle caratteristiche della struttura acquifera della roccia-serbatoio e dell'entità dei prelievi (66).

A Eloy, in Arizona, ad esempio, dal 1934 al 1960 si sono verificati fenomeni di abbassamento con punte anche di 12 cm all'anno, mentre a Western Pinoli, sempre in Arizona, su un'area di circa 1800 km², sono stati misurati abbassamenti del suolo, dal 1948 al 1970, pari a 12 cm annui (67). Nella Santa Clara Valley, in California, su un'area di oltre 600 km², dal 1915 al 1967, si sono riscontrati abbassamenti per un totale di circa 4 m e quindi pari ad un valore medio di circa 7 cm per anno (68); nella San Joaquin Valley (California), gli abbassamenti del suolo misurati dal 1920 al 1969, sono risultati di ben 8, 5 m circa, pari ad un valore medio di 17 cm all'anno. In questa località, l'abbassamento della superficie piezometrica della falda artesianica dovuto ad indiscriminati e cospicui prelevamenti di acqua, in 40 anni di osservazioni, è stata di circa 120 m (69). Alla foce del fiume Savannah, in Georgia, gli abbassamenti hanno fatto registrare valori inferiori, pari a circa 0,5 cm all'anno, ma non per questo meno preoccupanti (70).

In tutti questi casi è stato accertato il rapporto diretto intercorrente tra cedimento del suolo e quantità d'acqua estratta dalle falde sotterranee (71). Nell'area di Houston-Galveston, ad esempio, fino al 1954 quasi tutta l'acqua era prelevata direttamente dal Lago di Houston. I successivi prelievi dalle falde sotterranee nel 1972 hanno comportato emungimenti di circa 2 milioni di m³ d'acqua al giorno (di cui il 46% era destinato ai consumi domestici, il 33% all'industria, il 21% all'irrigazione); nel 1975 l'emungimento calò a 1.900.000 m³ al giorno.

A Pasadena ed a Baytown, l'incremento prolungato dei prelievi idrici dal sottosuolo ha causato un abbassamento della superficie piezometrica che, tra il 1943 ed il 1973, ha raggiunto rispettivamente i valori di 61 m e 99 m. Tale abbassamento del livello piezometrico è stato la causa di vistosi feno-

(66) POLAND J.F., *Subsidence due to Ground Water With drawal*, cit.

(67) LANEY R.H., RAYMOND R.H. e WINIKKA C.C., *Maps Showing Water-Level Declines, Land Subsidence, and Earth Fissures in South-central Arizona*, in «US Geological Survey Water-Resources Investigations 78-83», in *Cooperation with Arizona Water Commission and U. S. Bureau of Reclamation*, Tucson, Arizona, Open-File Report, 1978.

(68) POLAND J.F., *Land Subsidence Stopped by Artesian-head Recovery, Santa Clara Valley, California*, «Publication 121», International Association of Hydrological Sciences, 1977, pp. 124-132.

(69) POLAND J.F. e altri, *Land Subsidence in the San Joaquin Valley as of 1972*, in «U.S. Geological Survey Professional Paper 437-H», 1975; RILEY F.S., *Analysis of Borehole Extensometer Data from Central California*, «Publication 89», Intern. Ass. of Hydrol. Sciences, 1969, pp. 423-431.

(70) GABRYSCH R.K. e BONNET C.W., *Land-surface Subsidence in the Houston-Galveston Region, Texas*, «Report 188, U.S. Geological Survey», Texas Water Development Board, and the cities of Houston and Galveston, Texas, 1975.

(71) POLAND J.F., *Subsidence due to Ground Water With drawal*, cit.

meni di subsidenza verificatisi a più riprese nella zona (72).

Purtroppo, gli effetti più vistosi della subsidenza si registrano in quelle regioni nelle quali il carico demografico è notevole e dove la geografia delle terre emerse cambia frequentemente in relazione alla deposizione dei sedimenti fluviali (regioni deltizie ed in particolare aree di recente formazione ed emergenti con quote di poco superiori al livello del mare). Si tratta, ovviamente, di zone dove si possono registrare anche momenti drammatici per l'altezza del terreno rispetto alla superficie marina, per cui, se alla subsidenza si aggiunge l'aumento medio del livello marino registrato in questo secolo, è facile capire come la geografia di tali regioni sia destinata presto ad essere sconvolta. Deve far riflettere il caso di Bangkok, dove, a causa di un eccessivo emungimento delle acque sotterranee, la falda freatica ha subito un abbassamento del livello statico di 13 cm all'anno nell'ultimo trentennio (73).

Nel Bangladesh il prelievo delle acque sotterranee per l'irrigazione è aumentato notevolmente poiché ai circa 100.000 pozzi superficiali se ne sono aggiunti altri 20.000 profondi. Si ritiene pertanto che il ritmo della subsidenza si sia raddoppiato proprio a causa dei prelievi di acqua. Considerando che metà della superficie del paese si trova ad altitudine inferiore a 5 m s.m., se alla subsidenza si aggiunge anche l'innalzamento del livello marino è facile intuire come, qualora non si riducano i prelievi, il processo di abbassamento della superficie emersa possa stravolgere la già precaria situazione territoriale (74).

Esempi evidenti, ed altrettanto significativi, si ricavano dal nostro paese, soprattutto nelle fasce costiere urbanizzate (Veneto, Emilia-Romagna, Lazio, ecc.), nonché presso i grossi centri urbani. Nella Pianura Padana, soprattutto dal 1950 in poi, è stato registrato un sensibile abbassamento del suolo per cause diverse, con un conseguente incremento della velocità di subsidenza che ha finito con il destare in più casi serie preoccupazioni.

E' opinione diffusa tra gli studiosi che questo incremento sia imputabile soprattutto a cause artificiali, ed in particolare all'emungimento idrico indiscriminato, mentre le cause naturali (tettoniche e geologiche in generale) avrebbero effetti molto minori come ordine di grandezza, e quindi ben scarsa influenza rispetto alle prime. A Ravenna, ad esempio, si può parlare di abbassamenti per cause naturali pari a 2,6 mm all'anno (dal 1885 al 1959) e di 12 cm all'anno a partire dal 1959, per cause artificiali (75).

Fortunatamente, dopo il 1970, questo fenomeno ha subito una notevole contrazione accompagnata in alcune località addirittura da un'inversione di ten-

(72) GABRYSCH R.K. e BONNET C.W., op. cit., p. 275.

(73) JACOBSON J.L., *Abbandonare la propria terra*, in *State of the World 1989*, cit., pp. 105-134; cfr. p. 126.

(74) MILINAN J.D. e altri, *Environmental and Economic Impact of Rising Sea Level and Subsiding Deltas: the Nile and Bengala Examples*, Woods Hole Oceanographic Institution, 1988.

(75) FAZZINI P., *Basi e progressi di geologia ambientale in Italia*, Bologna, Pàtron, 1985, pp. 65 e segg.

denza, soprattutto a seguito della riduzione dell'emungimento delle falde (76). In questo contesto assume un significato emblematico il valore di cedimento, pari a 20 mm annui, segnalato a Milano dal 1950 al 1972, che ha provocato non pochi dissesti anche a carico di importanti edifici del centro storico, tra cui il duomo.

Anche in questo caso si è trattato di una modificazione dell'assetto del sottosuolo e della superficie dovuta all'abbassamento del livello statico di falda a seguito dello sfruttamento della risorsa acqua. Valori di subsidenza pari a 20 mm annui dal 1955 al 1975 si sono registrati anche a Como; il contenimento dei prelievi di acqua ha permesso di riportare a dimensioni più modeste tali cedimenti, passando, tra il 1975 e il 1979, a valori di 13 mm all'anno. Particolarmente noto è l'incremento della subsidenza nell'area di Ravenna, dove, a partire dal 1953, sono state registrate accelerazioni pari a 25 mm all'anno, con una punta massima di 120 (77). La subsidenza in quest'area, durante il ventennio 1950-1970, è passata da un minimo di 100 mm ad un massimo di 500 mm in corrispondenza del centro urbano di Ravenna e di quello di Alfonsine (78).

Grande allarme ha destato il fenomeno della subsidenza a Venezia (fino ad 1 cm all'anno) dove a esso si aggiunge il concomitante verificarsi del fenomeno dell'acqua alta: accurati studi hanno accertato che quest'ultimo è aumentato a seguito dell'innalzamento del livello del mare (1,27 mm annui) dovuto a cause climatiche. La subsidenza è stata invece attribuita al compattamento dei sedimenti provocata dall'abbassamento del livello statico di falda; la causa è anche in questo caso da attribuirsi agli emungimenti per usi soprattutto industriali. La sospensione degli emungimenti ha provocato la graduale risalita della superficie piezometrica ed un apprezzabile rallentamento della subsidenza (79).

Altri casi di rilevanti fenomeni di subsidenza nella Pianura Padana hanno riguardato alcune zone dell'Emilia, dove, soprattutto nel periodo in cui l'industrializzazione subì il massimo impulso (fine anni '60), si sono registrati forti incrementi. A Bologna e a Modena, i dati registrati intorno al 1970 e riferiti al ventennio precedente, hanno rivelato abbassamenti dell'ordine di 70 centimetri.

Non esistono quindi ormai più dubbi sulla stretta relazione tra forti prelievi idrici di acque sotterranee e subsidenza, fenomeni concomitanti che richiedono puntuali controlli ed interventi tecnici precisi e globali. E' noto

(76) PIERI L. e RUSSO P., *Studio sul fenomeno di abbassamento del suolo in atto nella zona di Bologna*, in «Boll. di Geodesia e Scienze affini», Firenze, 1977; RUSSO P., *Stato delle conoscenze sui movimenti verticali recenti del suolo nella pianura Padana e nuovi orientamenti di ricerca*, in «Stato delle conoscenze geologiche sulla Pianura Padana», 25, Torino, Litogr. Artigiana, 1985.

(77) IPPOLITO F., op. cit., p. 110.

(78) BERTONI W. e altri, *Note interpretative preliminari sulle cause della subsidenza in atto a Ravenna*, Com. di Ravenna-CNR, 1975.

(79) FAZZINI P., op. cit., p. 65.

che i fattori che entrano in gioco e che possono causare danni irreversibili alle strutture, ai monumenti ed ai centri abitati, oltre all'entità dei prelievi idrici, sono molteplici; numerosi sono i parametri che bisogna utilizzare: dall'esatta conoscenza del substrato all'attività neotettonica, al grado di cementazione e allo spessore dei sedimenti.

Il problema di fondo rimane comunque la corretta gestione delle risorse idriche.

Ma se il fenomeno della subsidenza nei terreni alluvionali non ancora consolidati è ben noto per la sua frequenza e per l'ampiezza degli abbassamenti che si producono, il cedimento di massicci o di substrati rocciosi a causa dell'emungimento superficiale o dell'abbassamento naturale delle falde freatiche è meno conosciuto. Questo fenomeno è solitamente trascurato anche perché i cedimenti sono più circoscritti, di minore entità, e difficilmente, quando non interessano direttamente le opere dell'uomo, provocano situazioni allarmanti. E' tuttavia un fenomeno che, in questo tentativo di avviare una ricerca geografica organica di tale categoria di dissesti, non può essere trascurato. Il caso più noto, almeno in Europa, è certamente quello della diga di Zeuzier, in Svizzera, sul fiume Lienne, affluente di destra del Rodano, nella parte centrale del Vallese. La diga, costruita tra il 1954 e il 1957, in una vistosa forra incisa in calcari giurassici, ha iniziato a presentare fenomeni di cedimento solo nel 1978, ossia vent'anni dopo la sua costruzione (80), nel momento in cui la realizzazione di una galleria artificiale sotto lo sbarramento provocò l'emungimento della falda sotterranea con il deflusso dell'acqua attraverso lo scavo.

I fenomeni di cedimento della diga si svilupparono progressivamente, procurando lesioni, accentuazione dell'inclinazione della struttura ad arco della diga, ecc., e si esaurirono in un periodo di 6-8 anni, dopo che il basamento della zona di imposta raggiunse un nuovo equilibrio in relazione alle mutate condizioni idrauliche (81).

Un altro effetto, meno noto, dello sfruttamento delle acque sotterranee, è quello relativo all'inaridimento ed alla trasformazione degli argini e del letto di corsi d'acqua, una volta a regime perenne, là dove questi sono alimentati direttamente dalle sorgenti di trabocco delle falde acquifere sotterranee.

(80) Il problema nacque nel momento in cui si iniziò ad intravedere la possibilità di realizzare un collegamento stradale in galleria tra il Vallese ed il Cantone di Berna che doveva passare al di sotto della diga di Zeuzier, ubicata appena 400 m al di sopra della quota prevista per la galleria. Al fine di chiarire i problemi di natura geologica ed idrogeologica connessi con la realizzazione della viabilità in programma, si decise di realizzare una galleria esplorativa in corrispondenza del futuro asse stradale. La costruzione iniziò nel luglio del 1976 e tra l'autunno del 1978 ed il 1979 i lavori raggiunsero la zona d'imposta della diga, dove si manifestarono consistenti infiltrazioni d'acqua dell'ordine di diverse centinaia di litri al secondo (LOMBARDI G., *Gli eccezionali cedimenti della diga di Zeuzier*, in «Geol. Tecnica», Roma, 1991, n. 1, pp. 23-38).

(81) GICOT O., *Le récent comportement du barrage de Zeuzier*, Wasser, Energie, Luft, Heft, 7/8, 1980, pp. 185-188.

Nel momento in cui l'eccessivo sfruttamento provoca un abbattimento consistente della piezometrica, come accadde nel caso del fiume Santa Cruz in Arizona, si assiste a un inaridimento del fiume cui, sovente, si associano anche fenomeni di cedimenti del terreno, come nel caso già citato di Eloy in Arizona, dove si registrarono fessurazioni del terreno di notevole ampiezza. Ciò provocò anche uno sconvolgimento dell'assetto del territorio in generale, con cedimenti di strade, franamenti delle infrastrutture irrigue, problemi di contropendenza delle reti fognarie, ecc. (82).

L'abbassamento del tetto della piezometrica connesso con l'emungimento incontrollato della falda acquifera provoca anche oggi conseguenze ambientali talmente complesse da rendere difficoltoso l'approvvigionamento idrico per scopi irrigui in diverse aree agricole (ad esempio, in Arizona). Nelle regioni abbandonate si sono innescati considerevoli effetti indiretti di desertificazione di ampie aree, con spopolamento e abbandono di tutte le infrastrutture rurali comprese le strade.

Gli stessi effetti già rilevati a proposito delle opere di ritenuta a monte dei corsi d'acqua (prese, traverse e sbarramenti) sono prodotti anche dalla captazione di altre emergenze idriche, come le sorgenti carsiche, spesso utilizzate per diversi impieghi.

In molteplici occasioni i corsi d'acqua alimentati da queste sorgenti vedono ridursi notevolmente gli apporti a valle allorché si attinge con le opere di presa alle loro sorgenti con portate di diverse centinaia, se non di migliaia di l/s.

E' il caso delle sorgenti del Peschiera captate per l'acquedotto della città di Roma con portata di 18 m³/s, delle sorgenti del Biferno per l'acquedotto campano e per quello molisano destro della portata di 3,5 m³/s, delle sorgenti del Sarno (Santa Maria la Foce) da cui vengono prelevati 500 l/s per l'integrazione dell'acquedotto campano, delle sorgenti del Sele e così via (83).

5. Acqua, agricoltura, difesa del suolo. – E' noto che l'irrigazione, pratica antichissima, ha da sempre consentito la trasformazione di terreni altrimenti sterili in aree importanti per la produzione agricola, rappresentando spesso il perno della sicurezza alimentare di molti paesi. E' proprio l'irrigazione che ha permesso di incrementare i fabbisogni alimentari a seguito dell'esplosione demografica che ha visto la popolazione mondiale passare nell'arco di poco più di un secolo da circa 1,6 a oltre 5 miliardi di individui.

Ma se finora l'irrigazione ha garantito la fornitura alimentare su scala globale, è opinione diffusa che per il futuro ciò non sarà più possibile in quanto, oltre alla difficoltà di reperire nuove aree da irrigare, si verificherà una riduzione di quelle già esistenti. Il motivo fondamentale consiste nella

(82) SHERIDAN D., *The Desert Blooms-at a Price*, in «Environment», 23, 1981, pp. 255-271.

(83) MESSINA V., *Opere idrauliche a servizio degli abitanti*, in *Cinquant'anni di ingegneria italiana dell'acqua*, cit., pp. 209-270; cfr. p. 230.

diminuita disponibilità di risorse idriche, soprattutto a causa dei costi, enormemente superiori rispetto al passato, per l'attrezzamento di nuove aree; un altro motivo risiede nel processo di salinizzazione dei suoli delle aree irrigate che ha costretto a una drastica riduzione delle superfici irrigue, anche a causa dei problemi ambientali provocati dalle grandi dighe (84).

Ogni anno circa 3000 km³ d'acqua, pari a sei volte la portata annua di un fiume come il Mississippi, corrispondenti al 70% del consumo idrico globale, sono destinati all'agricoltura, benché, secondo alcune stime, meno del 40% (e addirittura solo il 30% in Asia) venga effettivamente utilizzata dalle colture (85).

La superficie complessiva di area irrigua lorda, ossia dotata di impianti per l'irrigazione, secondo una stima della FAO, ammonta a circa 250 milioni di ha che assicurano a molti paesi, quali l'India, la Cina, l'Egitto, l'Indocina, la Thailandia, Israele, il Pakistan, ecc., oltre la metà della loro produzione alimentare (86).

L'espansione della superficie destinata all'irrigazione ha però iniziato a registrare un sensibile rallentamento a partire dalla fine degli anni '70, passando da un tasso di accrescimento dell'area irrigua netta dal 2-4 % all'1% circa (1979). Ciò ha portato l'area irrigua *pro capite* dal culmine di quasi 48 ha per 1000 persone del 1978 ai circa 45 del 1987, con un calo quindi del 5-6%, denotando un incremento inferiore delle zone di espandimento dell'irrigazione: una crescita lenta in relazione all'incremento demografico mondiale. Tra le cause di questo decremento sembrano primeggiare soprattutto quelle economiche, in particolare i prestiti delle Banca Mondiale ai paesi in via di sviluppo e, come si è già accennato, l'aumento esorbitante dei costi degli impianti di irrigazione (87). Nel frattempo il *trend* dell'incremento demografico non sembra voler accennare ad alcun cambiamento, per cui, a livello globale, occorre ripensare il tipo di utilizzazione delle aree attualmente irrigue. Parrebbe necessario, ad esempio, migliorare l'efficienza

(84) GOLDSMITH E. e AILDYARD N., *The Social and Environmental Effects of Large Dams*, Waterbridge Ecol. Centre, 1984, II ed. 1986.

(85) RANGELEY W.R., *Irrigation and Drainage in the World*, in «Water and Water Policy in World Food Supplies» a cura di WAINE R.J., Texas A and M University Press, College Station, 1987.

(86) UN FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), *Production Yearbook 1987*, Roma, 1988. Secondo questa stima, nell'area irrigua lorda dei 15 maggiori paesi del mondo (al 1986) il primo posto spetta all'India con 55 milioni di ha; seguono la Cina con 46,6 milioni di ha, l'ex Unione Sovietica con 21 milioni, gli Stati Uniti con 19 milioni, il Pakistan con 16 milioni, l'Indonesia con 7,3 milioni, l'Iran con 5,8 milioni, il Messico con 5,3 milioni, la Spagna e la Turchia con 3,3 milioni, l'Egitto e la Thailandia con 3,2 milioni, l'Italia, il Giappone e la Romania con 3 milioni di ha. Gli altri paesi posseggono invece una superficie complessiva irrigua lorda pari a 52.200.000 ha per un totale mondiale, quindi, pari a 250.200.000 ha. Sull'argomento si veda anche la tabella relativa riportata in POSTEL S., *Risparmiare acqua per l'agricoltura*, cit., p. 67.

(87) Su questi argomenti la letteratura è particolarmente ricca. In questa sede, si può rimandare a FAO, *Production Yearbook 1987*, cit.

delle strutture di adduzione e la resa dei suoli irrigati, rivedendo soprattutto il sistema di distribuzione dell'acqua per evitare che l'improduttività dei terreni irrigui possa divenire una costante talmente elevata da minare seriamente la sicurezza alimentare del pianeta (88).

Da queste brevi osservazioni emerge come il problema dell'efficienza dell'irrigazione nei territori già irrigui e quello dell'espansione nelle nuove aree eventualmente attrezzabili sia particolarmente grave e preoccupante se si ritiene che l'irrigazione debba continuare ad essere ancora il fulcro della produzione alimentare mondiale. Questa tendenza evidenzia, del resto, anche un altro fenomeno, connesso direttamente con le problematiche affrontate nella presente ricerca: le conseguenze negative derivate da una pratica di utilizzazione delle risorse idriche, sicuramente da non sottovalutare se si pensa all'incidenza mondiale del fenomeno.

E' stato già osservato che gli effetti dell'irrigazione rappresentano un costo ambientale elevato per l'umanità e che il depauperamento dei terreni irrigati, conseguente a una non corretta amministrazione del patrimonio idrico, costringe al ritiro definitivo da alcune aree coltivabili, annullando, di fatto, una parte delle rese che i nuovi ed ormai costosi progetti avrebbero invece dovuto garantire (89).

Il danno più rilevante provocato dall'utilizzo delle acque per l'irrigazione, la cui cattiva gestione sta provocando desertificazione proprio nelle aree irrigue facendone diminuire la superficie, è senza dubbio quello dovuto ai fenomeni dell'allagamento e della salinizzazione.

Nel caso dell'allagamento, l'infiltrazione nel terreno dai canali di scolo non arginati e la fornitura eccessiva di acque, soprattutto là dove le tecniche sono basate sul sistema di scorrimento, provocano l'innalzamento della sottostante falda freatica che può anche danneggiare le radici delle piante ostacolandone la crescita.

Nei climi aridi, la forte evaporazione delle acque superficiali lascia sul terreno un accumulo di sali che oltre un certo limite provoca la distruzione delle colture a causa del degrado del suolo e della desertificazione. Una semplice considerazione rende evidente questo fenomeno. E' noto che le acque utilizzate per l'irrigazione, anche se di ottima qualità e soprattutto se provengono da bacini in cui sono state accumulate per un certo periodo, contengono sempre una percentuale di sali disciolti dell'ordine di 200-500 parti per milione (per inciso si può ricordare che l'acqua degli oceani con-

(88) In Cina, ad esempio, a partire dal 1980, quasi un milione di ha di terreni irrigati sono diventati improduttivi, mentre nell'ex Unione Sovietica lo scarso rendimento per unità di superficie irrigata ha causato una sospensione dell'irrigazione su quasi 3 milioni di ha dal 1971 al 1985. Si consideri che queste dismissioni corrispondono a quasi un quarto dei nuovi territori sottoposti a trattamento irriguo nel mondo. Cfr. ZHUOYAN L. e GAO J., *Neglect of Water Projects Hurts Farmland*, in «China Daily», 10, 1989; USDA, ERS, *USSR: Agriculture and Trade Report*, Washington, 1989.

(89) POSTEL S., *Risparmiare acqua per l'agricoltura*, cit., p. 73.

tiene 35.000 parti per milione). Irrigare il terreno, a meno di nuove tecniche sofisticate, come, ad esempio, quelle a goccia, vuol dire, nella maggior parte dei casi, aggiungervi dell'acqua in quantità variabile da circa 6000 (come nelle nostre regioni meridionali) fino a 10.000 m³/ha all'anno (nelle regioni a clima decisamente arido).

Questo significa aggiungere al terreno, una volta che l'acqua evapora, da 1,2 a 5 t di sali per ogni ettaro. Se questi sali non vengono successivamente dilavati, com'è il caso frequentissimo dei terreni a scarso drenaggio, il loro accumulo finisce per arrecare danni alle piante rendendo improponibile la coltivazione (90).

E' difficile effettuare una stima dei danni provocati dalla salinizzazione. Una recente analisi riferita ai cinque paesi in testa alla classifica mondiale delle aree irrigue mette al primo posto l'India con oltre 20 milioni di ha danneggiati e/o abbandonati a causa della salinizzazione. Seguono la Cina con oltre 7 milioni di ha, gli Stati Uniti con 5,2 milioni, il Pakistan con oltre 3,2 milioni e l'ex Unione Sovietica con 2,5 milioni di ettari.

Applicando la percentuale media di superficie danneggiata dalla salinizzazione ottenuta per questi Stati all'area mondiale irrigua, è stato stimato che, nel mondo, oltre 60 milioni di ha irrigui sono ormai interessati dal processo di salinizzazione, il che corrisponde al 24% dell'area irrigua lorda complessiva (91). Se questo dato viene messo a confronto con quanto rilevato prima a proposito dell'incremento dell'irrigazione come sicurezza alimentare mondiale, si nota subito come quello della salinizzazione, ed in particolare le conseguenze sulla resa dei terreni irrigui, sia un problema gravissimo.

In Messico, ad esempio, secondo alcuni studiosi, la salinizzazione sta riducendo la produzione agricola in misura corrispondente a un milione di t di grano all'anno (92), sufficienti a sfamare un quarto degli abitanti dell'agglomerazione di Città di Messico.

La salinizzazione sta producendo effetti disastrosi anche in Egitto, dove tutto il terreno coltivabile è irriguo. In questo paese sembra che la metà dei suoli sia già colpito dal fenomeno, tanto che iniziano a registrarsi sensibili cali nelle rese, aggiungendo quindi un ulteriore effetto negativo all'utilizzazione delle acque del Nilo. Altre aree vistosamente colpite dalla salinizzazione sono gran parte dell'Afghanistan e i bacini fluviali del Tigri e dell'Eufrate (93). Gli interventi di dissalazione dei suoli, compresi quelli relativi al recupero produttivo delle aree irrigate si prospettano come particolarmente

(90) KOUDA U.A., *Loss of Productive Land Due to Salinization*, in «Ambio», vol. 12, 2, 1983.

(91) POSTEL S., *Risparmiare acqua per l'agricoltura*, cit., p. 75.

(92) YUDELMAN M., *Sustainable and Equitable Development in Irrigated Environments*, in «Environment and the Poor: Development Strategies for a Common Agenda», a cura di LEONARD H. J. e altri, New Brunswick, Transaction Books, 1989.

(93) Sull'argomento si veda la tab. 8 alle pp. 120 e 121, *Distribuzione mondiale delle aree colpite da salinità*, in RUDDLE K. e MANSHARD W., op. cit.

ardui e complessi. Sono infatti richieste, oltre che conoscenze tecniche adeguate, condizioni di base e tecnologie complesse, spesso non disponibili nelle regioni su cui si dovrebbe intervenire. Come esempio si può citare quello del Pakistan, il paese al quale si è presentato come condizione vitale il problema di affrontare il recupero dei terreni salinizzati, ottenendo però soltanto risultati molto limitati, comunque inferiori alle prospettive. Dal 1960, anno in cui il Governo decise di impegnarsi attivamente nella lotta alla salinizzazione, trascorsi vent'anni, dopo che erano stati realizzati ben 12.000 pozzi verticali di drenaggio, sistema rivelatosi efficace per combattere il problema, l'area interessata si trovava ben lontana dall'obiettivo prefissato. Tuttavia, poiché ciò è da attribuirsi in parte al mancato intervento dei privati, il Governo ha preferito insistere su tale strada destinando all'attività di drenaggio ben il 43% del patrimonio idrico totale ricorrendo anche a crediti e contributi per favorire ulteriormente l'iniziativa dei privati nella realizzazione dei pozzi (94).

E' accertato che i costi del drenaggio per combattere o per risolvere il problema della salinizzazione sono esorbitanti, e questo, in una certa misura, spiega perché i governi dei vari paesi esitino a porre termine al degrado del suolo provocato dalla salinizzazione tramite contromisure veramente efficaci (95).

Un'altra conseguenza negativa dovuta sempre all'irrigazione e rilevata negli Stati Uniti occidentali è quella scoperta da alcuni scienziati che hanno stabilito un nesso tra le deformità o le incapacità riproduttive di alcuni animali e l'acqua di drenaggio dei terreni coltivati, contaminata da composti chimici tossici (96).

Sembra infatti che dopo alcuni decenni di irrigazione siano state mobilitate quantità eccessive di selenio e altri composti chimici, «più di quanto non sia avvenuto a causa del drenaggio naturale in diversi secoli, con concentrazioni di selenio letali in 22 riserve naturali, tra cui il Kerterson Natural Wildlife Refuge» (97).

E' stato valutato che le possibilità di soluzione del problema, che potrebbero comprendere opere di filtrazione meccanica, di depurazione biologica e di trattamento chimico, avrebbero un costo talmente elevato da far ritenere più probabile un abbandono, nel prossimo decennio, di buona parte dei territori (98) afflitti da questo problema in California: nella San Joaquin Val-

(94) JOHNSON III S.H., *Large Scale Irrigation and Drainage Schemes in Pakistan*, in «Efficiency in Irrigation: The Conjunctive Use of Surface and Groundwater Resources» a cura di O'MARA G.T., Washington, Banca Mondiale, 1988; cfr. anche POSTEL S., *Porre fine al degrado del suolo*, in *State of the World 1989*, cit., pp. 33-68, p. 61.

(95) Per quanto concerne questo aspetto relativamente all'Egitto cfr.: RALOFF J., *Salt of the Earth*, in «Science News», novembre, 1984.

(96) POSTEL S., *Risparmiare acqua per l'agricoltura*, cit., p. 75.

(97) POSTEL S., *Risparmiare acqua per l'agricoltura*, cit., p. 75.

(98) HARRIS T., *A Valley Filled with Selenium*, in «Sacramento Bee», luglio, 1989.

ley (99), ecc.

Un altro problema legato all'irrigazione con acque provenienti dalle falde acquifere sotterranee è l'emungimento incontrollato cui esse sono sovente sottoposte. In molti casi, infatti, si supera di gran lunga la loro possibilità di ricarica naturale per cui, se non si verificherà un'inversione di tendenza, molte falde, ad esempio nelle aree irrigue degli Stati Uniti, verranno presto esaurite. Nel Texas, le falde acquifere, agli inizi degli anni '80, presentavano un ritmo di abbattimento di 15 cm all'anno su un'estensione di oltre 1,5 milioni di ha, pari al 72% circa dell'area irrigua di quello Stato (100). Il fenomeno è rilevante anche in molti altri paesi (Cina, India) dove, soprattutto nelle regioni costiere, l'abbattimento delle falde freatiche ha provocato il richiamo dell'acqua marina determinando un aumento del processo di salinizzazione e arrivando a contaminare anche le riserve di acqua dolce di numerosi villaggi (101).

Non si può, infine, non accennare al problema della competizione sull'uso delle risorse idriche innescati dalle pretese avanzate dall'irrigazione nei confronti dell'acqua disponibile. Se si pensa, infatti, ai dati richiamati a proposito dei quantitativi di acqua destinati all'agricoltura, è facile comprendere che in alcune regioni la questione della corretta utilizzazione delle risorse idriche si pone veramente in termini di competizione. Il problema è grave e si pone, ovviamente, soprattutto nei paesi maggiormente interessati dall'incremento demografico e dall'urbanizzazione che reclamano sempre maggiori quantitativi d'acqua per usi civili e industriali. Questi aspetti dovranno certo essere valutati in un quadro generale della pianificazione delle risorse idriche, non riferiti solamente ai consumi per l'agricoltura ma anche al deterioramento della qualità delle acque, all'andamento della stagione

(99) Attualmente circa 400.000 acri di aree agricole irrigate nella San Joaquin Valley sono danneggiati da falde salmastre. Molte di queste falde salate sono state create dal percolamento di acqua di irrigazione dalla superficie verso il basso. L'acqua che rimane dall'evaporazione e dalla traspirazione delle piante e che cola nel terreno ha un contenuto di sali disciolti più alto di quando è stata «portata» sul terreno. Molte aree irrigate presentano, poco sotto la superficie, uno spesso strato di materiale impermeabile che blocca il passaggio dell'acqua verso il basso. Così si accumula acqua salata, o in aggiunta a depositi che si erano già raccolti naturalmente o creando nuovi depositi sotterranei. In entrambi i casi, come cresce il volume del deposito, il suo livello sale verso la superficie, verso il tetto dei terreni agricoli. Già a 5 piedi dal tetto può causare gravi danni perché una certa quantità di acqua continuerà a salire capillarmente. L'acqua salata inibisce la capacità delle piante di assorbire umidità e ossigeno e le piante si fermano nella crescita o muoiono. Se l'acqua salata raggiunge la superficie di un campo evaporerà lasciandosi dietro cristalli di sale. Nel tempo si formerà una crosta salata sul suolo, una crosta che è relativamente impermeabile e che diminuirà quindi il potere naturale di infiltrazione dell'acqua che cade sul campo». SHERIDAN D., *The Desert Blooms - at a Price*, cit., pp. 260-261.

(100) DICKASON C., *Improved Estimates of Groundwater Mining Acreage*, in «Journ. of Soil and water Conservation», 3, 1988.

(101) WIDSTRAND C. (a cura di), *Water Complicts and Research Priorities*, Elmsford, Pergamon Press, 1980.

piovosa (connesso più in generale con le ventilate condizioni di cambiamento del clima), all'avanzamento della fascia desertica, alle gravi conseguenze ambientali provocate dalle grandi opere di regolazione che sovente compromettono le già scarse produttività oggi esistenti in quei paesi.

Così, il problema dell'acqua per l'agricoltura finisce con il trasformarsi da competizione (in relazione agli altri usi) in minaccia vera, in parte attuata in alcune regioni, di una restrizione con selezione, addirittura, delle tipologie delle utenze agricole che ne possono beneficiare. Nell'area di Pechino, ad esempio, dove la situazione è fortemente critica in quanto le falde sotterranee si stanno abbassando al ritmo di 1-2 m all'anno e numerosi pozzi sono già in secca (102), si prevede che gli agricoltori possano perdere dal 30 al 40% delle forniture attuali per tutto questo decennio, mentre già nel 1985, anno in cui la siccità fece raggiungere i minimi storici ai livelli dell'acqua nei due bacini che alimentano la città, venne sospesa la fornitura dell'acqua a tutti quegli agricoltori che non coltivavano ortaggi (103).

La stessa situazione di drammatica preoccupazione di restrizione delle risorse si registra, sempre a danno in primo luogo dell'agricoltura, nell'Africa settentrionale e orientale, nel Vicino e Medio Oriente, in India, nel Messico, in molte parti degli Stati Uniti. Nella zona di Tucson, addirittura, si prevede la scomparsa dell'agricoltura entro il 2020 (104).

6. *Note conclusive.* – L'analisi svolta ha inteso tracciare i lineamenti essenziali di una geografia dei degradi ambientali connessi con lo sfruttamento delle risorse idriche. Ne è scaturito un quadro che non vuole avere pretese di completezza né essere esaustivo di tutte le situazioni di degrado in atto relativamente alla tipologia degli impieghi dell'acqua, ma che comunque evidenzia l'esigenza di affrontare in un modo nuovo il problema dell'uso di questa risorsa. E' un quadro geografico che richiede approfondimenti tematici, sia a livello di singoli casi, sia a livello regionale, al fine di conoscere, almeno in fase di approccio, l'effettivo stato attuale di degrado del suolo connesso con un utilizzo poco accorto, o, quanto meno, non razionale, delle acque continentali superficiali e sotterranee.

Certamente, infatti, per numerose di queste situazioni non è stata ancora effettuata un'analisi approfondita e globale. Forse non ce n'è stato il tempo e, in molti casi, questo si può anche capire, se non giustificare, soprattutto allorché la necessità di risolvere situazioni inderogabili di approvvigionamento idrico per i diversi usi impediva riflessioni che avrebbero comportato spiacevoli ritardi.

La società si è resa conto in ritardo che l'acqua è un bene non sempre rinnovabile, soprattutto dal punto di vista qualitativo; si è così utilizzata

(102) NICKUM J.E., *Beijing's Rural Water Use*, Honolulu, marzo, 1987.

(103) NICKUM J.E., op. cit.

(104) CHECCHIO E., *Water Farming: The Promise and Problems of Water Transfers in Arizona*, Tucson, University of Arizona, 1988.

questa risorsa in modo irrazionale, impiegandola, ad esempio, per uso irriguo – anche in tempi molto recenti – nelle ore del giorno più calde, durante le quali più intensa è l'evaporazione, o riversando nei corsi d'acqua o nei laghi i reflui industriali.

Dall'analisi è emerso pure che tutti gli usi non corretti dell'acqua hanno innescato processi di degrado, in diversi casi irreversibili, a carico del suolo, per cui diviene sempre più difficile contrastare l'estendersi della desertificazione in aree già irrigue, senza che nel frattempo sia possibile attivarne delle nuove.

Paradossalmente, di fatto, in molti paesi le nuove disponibilità idriche necessarie per i fabbisogni alimentari non riescono nemmeno a compensare le perdite provocate proprio dalla non corretta utilizzazione dell'acqua.

E' questo uno dei problemi più complessi che l'umanità dovrà affrontare e risolvere in tempi brevi, pena la riduzione delle disponibilità d'acqua e la diminuzione della capacità alimentare globale. Si consideri che ormai in molti Stati le nuove grandi infrastrutture per approvvigionamento idrico comportano costi così elevati che nelle attuali condizioni economiche difficilmente potrebbero realizzarsi, soprattutto nei paesi in via di sviluppo. Ne consegue la necessità improcrastinabile di limitare almeno il processo di degrado dei suoli per effetto della salinizzazione e dell'erosione nelle aree irrigue già attrezzate.

In conclusione, la presente analisi ha messo in luce gli effetti negativi legati direttamente all'utilizzo delle acque e riassumibili nei seguenti punti:

- modificazione del regime idrologico globale dei corsi d'acqua a causa dei prelievi a monte che finiscono con l'alterare a valle gli *habitat*, provocando profonde trasformazioni ambientali e variazioni nell'assetto del territorio, soprattutto nelle aree deltizie e nelle piane fluviali terminali;

- deterioramento delle risorse idriche, sia qualitativamente che quantitativamente, soprattutto a causa dell'utilizzo dei bacini come recettori finali degli scarichi dell'uomo all'interno dei sistemi idrografici e per la generale assenza di misure atte alla salvaguardia delle risorse dall'inquinamento;

- dissesti con perdite economiche, e sovente di vite umane, a causa del crollo improvviso dell'opera di sbarramento realizzata per l'accumulo dell'acqua;

- conseguenze derivate dall'alterazione delle condizioni del suolo dovute alle infiltrazioni d'acqua in profondità e ai fenomeni di assestamento provocati dal peso della colonna d'acqua nei bacini idrici;

- distruzione delle risorse idriche sotterranee nei litorali a causa dell'eccessivo emungimento delle falde con ingressione di acqua marina e relative modificazioni delle caratteristiche originarie del giacimento;

- caduta delle superfici piezometriche, spesso irreversibile a causa delle mutate condizioni climatiche che non compensano l'abbattimento artificiale, fino all'esaurimento completo delle falde;

- variazione degli assetti territoriali con problemi notevolissimi a causa del degrado provocato dalla subsidenza artificiale dovuta all'estrazione di

acqua (ma anche di altri fluidi) dal sottosuolo in misura superiore alla reale possibilità di ricarica;

- aumento dell'erosione e depauperamento del suolo a causa della salinizzazione provocata dalla non corretta pratica irrigua;

- consumo di spazio che assume proporzioni di vasto rilievo soprattutto in concomitanza con la realizzazione dei grossi invasi che sommergono migliaia di ettari di lussureggianti foreste pluviali (diga sul Tocantins) e di terreno produttivo, e talora anche risorse storiche e archeologiche di grande valore scientifico-culturale (templi della Nubia).

Purtroppo, la considerazione più logica è che le conseguenze negative dell'utilizzazione delle risorse idriche (le cui dimensioni non ci sono del tutto note sotto il profilo dell'impatto ambientale) non sembrano destinate ad una contrazione, soprattutto per l'assenza di un'educazione ambientale generalizzata.

Si consideri, altresì, che la popolazione mondiale è in continua crescita, il che richiederà nuove opere di regolazione delle risorse idriche, opere volte, oltre che ad assicurare acqua potabile, a garantire il fabbisogno alimentare, raggiungibile solo con l'ampliamento delle attuali aree irrigue.

Anche questo fattore comporterà, come già rilevato, un aggravarsi delle situazioni di degrado finora in atto, con conseguenze ambientali sovente spinte al punto di vanificare quegli effetti positivi che si volevano raggiungere nei confronti delle popolazioni.

Non può non concludersi, a questo punto, che una più accorta e oculata gestione delle risorse idriche, su scala globale, valutando soprattutto *a priori* le conseguenze negative della realizzazione delle grandi opere di prelevamento dell'acqua, superficiale e sotterranea, è assolutamente indispensabile.

Il problema, in definitiva, risiede nella corretta interpretazione del rapporto esistente tra l'utilizzazione delle risorse idriche da una parte e l'ambiente dall'altra. Ma se questo può essere un obiettivo facilmente raggiungibile allorché il rapporto risorsa/ambiente interessa esclusivamente il territorio di un singolo Stato, appare molto più complesso nel caso di unità geografico-territoriali che, invece, interessano diversi Stati, come avviene per quasi tutti i maggiori bacini idrografici.

Si è già accennato, a questo proposito, alle tensioni createsi tra Egitto e Sudan in merito alla regolazione delle acque del Nilo per via dell'utilizzo delle acque dell'Alta diga di Assuan; ma numerosi altri casi simili si verificano in diversi paesi in via di sviluppo, dove è più facile l'instaurarsi di gravi crisi politiche e dove la disponibilità idrica è più urgente per la stessa sopravvivenza delle popolazioni.

Pertanto, per un nuovo rapporto ambiente/uomo ed in particolare acqua/uomo è auspicabile l'adozione di nuovi criteri di gestione su scala mondiale che si basino su una politica pianificatoria attenta non solo alle tematiche locali ma anche alle problematiche internazionali e – sarebbe il caso di dire – di tutto il pianeta.

PROTECTION OF THE SOIL AND WATER RESOURCES. – In the present work the essential features of the geography of environmental degradation connected with the exploitation of water resources, both on the surface and below ground, have been outlined. A quite organic picture has been formed showing a state of more serious degradation than one could have predicted in the past with regard to the environment, caused by the improper use of water. It has been pointed out that, in many cases, precisely this indiscriminate use of water resources rather than slowing down the processes that create imbalance, allowing for example cultures in previously drought areas, has caused desertification phenomena of the extreme kind (salination, soil flooding, etc.) cancelling out the benefits connected with the use of the water resource.

Referring to some examples, partly already known, the main situations and typologies of current degradation have been analyzed and an attempt has been made to classify them pointing out those instances of soil erosion, brought about systematically, by the use of the water resources when the environmental reality has not been taken into account.

Università di Sassari, Istituto e Laboratorio di Geografia.