

MICHELE L. FALOCI — PERIS PERSI

SAHEL: CONTRIBUTO ALLA MIGLIORE GESTIONE DELLE ACQUE NEL CENTRO-EST DEL BURKINA FASO

Ogni tentativo di definire il Sahel, fornendo a questo spazio limiti assoluti, pecca in qualche modo di arbitrarietà, pur nell'apprezzabile aspirazione a porre un limite alla tendenza politica di farvi rientrare altri territori come le Isole del Capo Verde e il Gambia (che sono ormai membri del CILSS, cioè del Comitato Interstatale di Lotta contro la Siccità nel Sahel) oppure, per assimilazione, la Somalia, il Kenya settentrionale costiero o la parte orientale della Tanzania.

La proposta di ricorrere all'aridità e di definire saheliana l'area a sud del Sahara compresa tra 250 e 600 mm sembrerebbe fare chiarezza, ma, quantunque il fattore pluviometrico rivesta fondamentale importanza, il Sahel è una realtà assai più complessa e articolata che non può ignorare la morfologia, l'idrografia, i suoli, la vegetazione, il popolamento, le etnie, le condizioni agrarie, la diffusione dell'allevamento pastorale e nomade e le situazioni politico-culturali. È una fascia che borda il Sahara meridionale, dall'Atlantico al Mar Rosso, con ampiezza variabile nello spazio e nel tempo, che trova la sua maggiore peculiarità nel regime morfoclimatico di transizione e nella comunanza di risposte che le popolazioni locali hanno fornito alle sollecitazioni ambientali e al loro frequente mutare e inasprirsi. È un fatto che proprio il Sahel ha conosciuto, in una lontana e plurisecolare prosperità, imperi e regni fastosi, efficienti reti urbane a controllo delle vie commerciali del Sahara e capitali famose come sedi di irradiazione islamica.

Pertanto, accanto a un Sahel in senso stretto, delimitato dalle isoiete 250 - 600, esiste un territorio saheliano più esteso e geograficamente motivato come tale, che tiene conto di un maggior numero di fattori ecologici e storico-sociali e sulle cui frange meridionali, di poco più umide, vanno concentrandosi, nei momenti di maggiore siccità, le popolazioni con le loro mandrie di bovini e dromedari e con le loro greggi di pecore. In questo ambito si colloca il Burkina Faso, già Alto Volta, di cui la parte settentrionale (Djibo, Dori, Gorom-Gorom) rientra nel Sahel in senso stretto e il resto in quel territorio relativamente più favorito, ma anch'esso soggetto a un forte calo pluviometrico e reso più fragile dalla crescen-

te pressione da parte di genti e di animali in fuga dal nord. Di qui l'interesse verso tale regione, non solo per comprendere i modi industriosi e antichi di come si fronteggia una calamità ricorrente, ma soprattutto per fornire un aiuto concreto ed eventualmente per cogliere qualche sintomo di una sperata inversione climatica.

Il Burkina Faso, sito tra i paralleli di 10° e 15° N e a cavallo del meridiano di Greenwich, è un paese chiuso, senza sbocchi sul mare. Si estende per poco più di 274.000 km² e al censimento del 1986 contava 7.920.000 ab., in gran parte immigrati; nel 1982 gli ab. erano 6.360.000 e nel 1961 4.400.000. Secondo il «World Statistics in Brief» (ONU, 1981), ha avuto per gli anni 1970-75 e 1980 un prodotto nazionale lordo pro capite tra i più bassi del mondo, rispettivamente di 61-90 e di 125 dollari USA per anno. La bilancia dei pagamenti dell'allora Alto Volta era distinta da importazioni ed esportazioni crescenti, le prime, in dollari, di 4 o 5 volte superiori alle seconde e queste limitate soprattutto a cotone, noce di karité e animali vivi.

Come tutti i paesi del Sahel, con la siccità del 1983-84 ha subito un ulteriore regresso produttivo, successivamente recuperato grazie agli sforzi congiunti del nuovo Burkina Faso, guidato dal presidente Thomas Sankara, e dell'assistenza internazionale. Il coefficiente medio di accrescimento annuo rimane comunque elevato e si aggira intorno al 2,4%. Solo il 7,7% della popolazione è considerata urbana, mentre il resto è variamente distribuito su un territorio che risulta arativo per appena il 9,3%. Il cospicuo sovrappopolamento rispetto alle risorse alimenta una corrente migratoria soprattutto verso la Costa d'Avorio e altri paesi più favoriti, da cui si ha un consistente ritorno di rimesse.

Le regioni del Nord e dell'Est verso il Mali e il Niger sono le più povere. Nel settore centro-orientale si trova il territorio studiato (12.000 km²), che ha come località principali: Tenkodogo, Koupela, Zabré e Garango. I bacini idrografici interessati sono quelli del Volta Bianco, del Volta Rosso e del Nouhao.

A Tenkodogo (7100 ab.), capoluogo della provincia di Boulgou, risiede il re dei Mossi, la più fiera, popolosa e isolata etnia della regione (circa 2.600.000 unità). La convivenza tra l'autorità tradizionale e quella politica non è facile, ma tutte e due sono accomunate dall'esigenza di affrancarsi dalla fame e dalla sete.

Effettivamente, attraverso innumerevoli difficoltà, sotto l'amministrazione rivoluzionaria si è tentato di concretizzare lo slogan «non vogliamo più cereali in dono, dateci piuttosto strumenti per produrli noi stessi». A questo appello l'Italia ha risposto con un programma di assistenza, orientato allo sviluppo integrato, sostanzialmente agricolo, della regione centro-orientale, per un valore di circa 42 milioni di dollari USA in un periodo di 7 anni (1983); di questi, circa 5 milioni sono stati destinati ad uno studio per l'ubicazione, la costruzione, l'equipaggiamento e la

formazione di addetti alla manutenzione di 400 perforazioni, in modo da assicurare acqua potabile ad altrettanti villaggi. L'agenzia di esecuzione è la FAO e i tecnici supervisori sono prevalentemente italiani, ma i lavori sono diretti ed eseguiti da imprese locali.

Al luglio 1986 erano state realizzate 150 perforazioni. La soglia contrattuale era fissata ad una portata di $1 \text{ m}^3/\text{h}$, valore comunemente accettato per fornire una ventina di litri al giorno pro capite a tutti gli abitanti di un villaggio fino a 500 unità. In realtà la portata media è risultata superiore, pari a oltre $5 \text{ m}^3/\text{h}$. Si è posto, quindi, l'interrogativo di come utilizzare nel modo migliore questa insperata ricchezza che sul mercato non vale quanto il petrolio, ma che nel Sahel vale molto di più perché significa vita.

Il progetto FAO-Italia ha immediatamente considerato questa «scoperta», ma ha anteposto ad ogni decisione la verifica preliminare delle risorse rinnovabili in acqua sotterranea, al fine di evitare il fallimento dell'iniziativa con l'esaurirsi della falda: è vero che con 10 m^3 al giorno si può già irrigare 1 ha ad orto, ma le condizioni ambientali di quel territorio permetteranno a medio termine una ricarica della falda tale da poterne protrarre nel tempo l'emungimento rilevato?

Parallelamente veniva condotta un'indagine per accertare se e come i villaggi così favoriti avrebbero potuto gestire queste risorse. L'economia dei villaggi non ha basi omogenee: i Mossi prevalgono nel settore centro-occidentale del territorio studiato, i Peul in quello settentrionale, i Gourmantché ad est, accanto ai Bissa che si concentrano verso sud; agricoltura, allevamento, commercio sono le rispettive preferenze dei tre gruppi etnici. Ma qualunque sia l'attività prevalente degli uomini, le donne hanno un raggio d'azione limitato a poche ore di cammino dal villaggio, e sono le donne che hanno il compito ingrato di provvedere l'acqua, il nutrimento per i figli, la legna per cucinare e scaldarsi: tre spine, una peggiore dell'altra, in un ambiente naturale così avaro di risorse. Eppure sono proprio le donne dei villaggi, spinte dal loro realismo di sopravvivenza e formate in comunità, ad apprezzare la possibilità di gestire parcelle di terreno fino ad 1 ha irrigate ad orto. Vantaggi immediati sono infatti un lavoro meno faticoso e meno lontano dal villaggio rispetto all'attuale coltivazione di remote depressioni un po' umide, un maggiore tempo e più energie da dedicare alla famiglia, una valida integrazione alimentare e/o la disponibilità di merce di scambio di valore non trascurabile.

La condizione di base è quindi la disponibilità di acqua. Lo studio che segue, relativo al bilancio idrico, utilizza l'approccio olistico delle scienze della Terra per arrivare ad una motivata risposta sulla disponibilità nel tempo di sufficienti risorse rinnovabili d'acqua da destinare a questa utilizzazione.

Lo studio del bilancio idrico va articolato su tre livelli, ognuno dei quali diventa indispensabile premessa del successivo:

- livello regionale, per controllare se sull'area cada il minimo di piogge richiesto per rimpinguare le falde;
- livello sub-regionale, per verificare se esista un serbatoio capace di immagazzinare quest'acqua e se esso possieda caratteristiche idrauliche tali da assicurare la portata desiderata;
- livello locale, per proporre le tipologie costruttive di una perforazione capace di sfruttare convenientemente queste condizioni.

A) *Livello regionale.* — Nella tab. 1 riportiamo le medie delle piogge registrate in stazioni del territorio in esame, pubblicate nel «Bulletin pluviométrique», edito dal Météo National assistito dalla ASECNA (Assoc. per la Sicurezza della Navigazione Aerea in Africa e nel Madagascar) e dal CIEH (Comité Interafricain d'Études Hydrauliques):

TAB. 1

PIOVOSITÀ MEDIA NELLA REGIONE CENTRO-ORIENTALE
DEL BURKINA FASO

Località	Media 1947-79	Media 1947-65	Media 1966-79	1984
Tenkodogo	906	917	892	472
Koupela	787	841	774	523
Zabré	966	1020	901	756
Garango	856	912	846	571

Appare evidente che le medie tendono ad abbassarsi nel tempo: è molto interessante notare fin d'ora che le medie del 1947-65 sono maggiori di quelle del 1947-79. Nuove osservazioni derivano dall'esame dei dati relativi agli ultimi anni, sebbene essi non siano così numerosi quanto sarebbe auspicabile (tab. 2). Da questi appare evidente l'incremento delle piogge fino alla crisi del 1972 e quindi la brusca diminuzione successiva.

Dal confronto delle precipitazioni annuali con le fluttuazioni del livello di falda presso Ouagadougou, si registra una progressiva diminuzione del livello statico che ogni anno si rialza di circa 1 m, ma poi si riabbassa più di quanto si era alzato (fig. 1). Nel periodo considerato (1978-84) il livello è sceso di circa 3 m, ma tale andamento sinusoidale di ricarica decrescente è iniziato in precedenza, a partire dal 1970, ed è stato inizialmente sottovalutato in quanto la città sostanzialmente non utilizza acqua sotterranea per il proprio approvvigionamento.

Altre considerazioni ci derivano dall'esame della carta delle isoiete (fig. 2), che utilizza i dati della serie 1966-79 e che rispecchia già la nuova avara tendenza: essa è ottenuta sulla base di più stazioni, quantunque

VARIAZIONE DELLA PIOVOSITÀ MEDIA
NELLA REGIONE CENTRO-ORIENTALE DEL BURKINA FASO

Località	Media 66-85	Media 66-71	Media 72-79	Media 80-85
Tenkodogo	845	1020	796	742
Bittou	850			
Ouargaye	806	834	854	719
Koupela	717	782	767	596
Gombossogou	(727)	870	899	(675)
Zabré	855	957	859	754
Garango	(821)	918	789	(716)

Il dato relativo a Bittou è stato registrato dai Padri Bianchi di Bittou. I dati tra parentesi sono incompleti.

operanti in un arco di tempo più ridotto. L'andamento delle isoiete è quello tipico a bande secondo i paralleli con valori decrescenti verso il vicino deserto, a nord. Le due curiose forme a goccia sembrano correlarsi alle valli del Volta Bianco e del Nouhao, già abbandonate e deserte, con conseguente più alta albedo, perché infettate dagli insetti vettori della oncocercosi (8000 ciechi nella sola missione di Bittou). Oggi, dopo ventennale sforzo delle Nazioni Unite, questa terribile malattia saheliana pare definitivamente debellata, come del resto è stato per il vaiolo, e queste terre relativamente ricche sono oggetto di distribuzione e di importanti programmi di assistenza come quello che ci riguarda. Se questa ipotesi è giusta ed è vero che 3000 ha a verde bastano a modificare un microclima, mettendo in opera questo caposaldo contro il deserto che avanza anche le isoiete dovrebbero riassumere un andamento prossimo ai paralleli.

Degli apporti meteorici solamente una parte è tuttavia utile alla ricarica delle falde, cioè solo la «pioggia efficace»; questo concetto varia tuttora secondo che gli utilizzatori siano agronomi (a cui interessa avere umidità alle radici delle piante), geotecnici o altri specialisti. Qui intendiamo per «pioggia efficace» quella che sfugge all'evapotraspirazione e arricchisce la falda sotterranea.

Per valutare l'entità dell'evapotraspirazione esistono vari approcci: teorici (Turc, Thornthwaite, ecc.), strumentali (evaporimetri Piche, standard «A», Colorado, ecc.) e misti (Penman, Dastane, ecc.).

I «misti» partono da osservazioni sui terreni e da situazioni reali, modulandole poi sulla base di diversi parametri: Penman ne considera ben sette (temperatura, umidità, vento, ore di sole, intensità del sole, evaporazione, potere riflettente — albedo — del sito). Dastane corregge i valori più facilmente reperibili, cioè quelli dell'evaporimetro «bac standard A» con criteri che considerano, oltre al tipo del suolo, soprattutto la

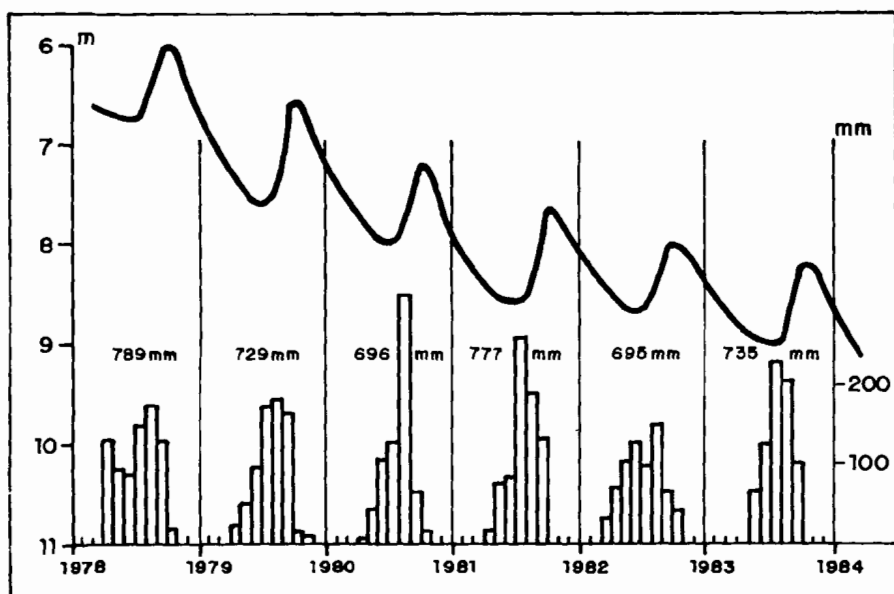


FIG. 1 — PIOGGE (in mm) E FLUTTUAZIONI ANNUALI DELLA FALDA ACQUIFERA NEI GRANITI (in m) (Ouagadougou, 1978-1984).

densità delle piogge. Infatti si sa che la stessa quantità di pioggia può provocare un'inondazione se cade in poche ore, o riempire le falde se ben dosata ad una ventina di mm al giorno per diversi giorni, oppure evaporare completamente se distribuita in 2 mm per ogni giorno dell'anno.

Il metodo dell'indiano Dastane è un metodo semplice e valido in India. Nel Sahel lo è un po' meno, perché, partendo dal «bac A», della cui evaporazione in mm ritiene solo l'80%, considera presente acqua in eccesso, cioè valuta l'evapotraspirazione potenziale (ETP) e non quella reale (ETR), limitata dalla disidratazione del suolo. Tanto più che il suolo è poi soggetto all'evapotraspirazione ritardata, cioè alla perdita e poi alla ricostituzione preliminare della scorta d'acqua di ritenzione. Va notato che così facendo si consuma assai meno della differenza tra evapotraspirazione potenziale e reale e quindi la riduzione all'80% della ETP «bac A», proposta da Dastane, non sempre sarebbe sufficiente a rimettere in ordine le quantità in gioco (1).

(1) A titolo di esempio, si abbia una stagione di piogge di 700 mm di cui 200 si infiltrano nel suolo; seguano molti mesi di siccità che assorbano 150 mm al mese dell'acqua in superficie; ma se questa manca, viene richiamata indietro l'acqua che si sta infiltrando e si trova ancora a pochi m di profondità, e quella di ritenzione del suolo stesso. Quando la pioggia ritornerà, sia che siano passati solo due mesi, sia che ne siano trascorsi sei o otto, il suolo assorbirà sempre la stessa quantità delle prime piogge per cercare di ricostituire la sua scorta di acqua di ritenzione, non gravitativa, ma evaporabile, prima di ricaricare la falda: quindi l'evapotraspirazione reale (diretta o ritardata) è sensibilmente inferiore all'evapotraspirazione potenziale.

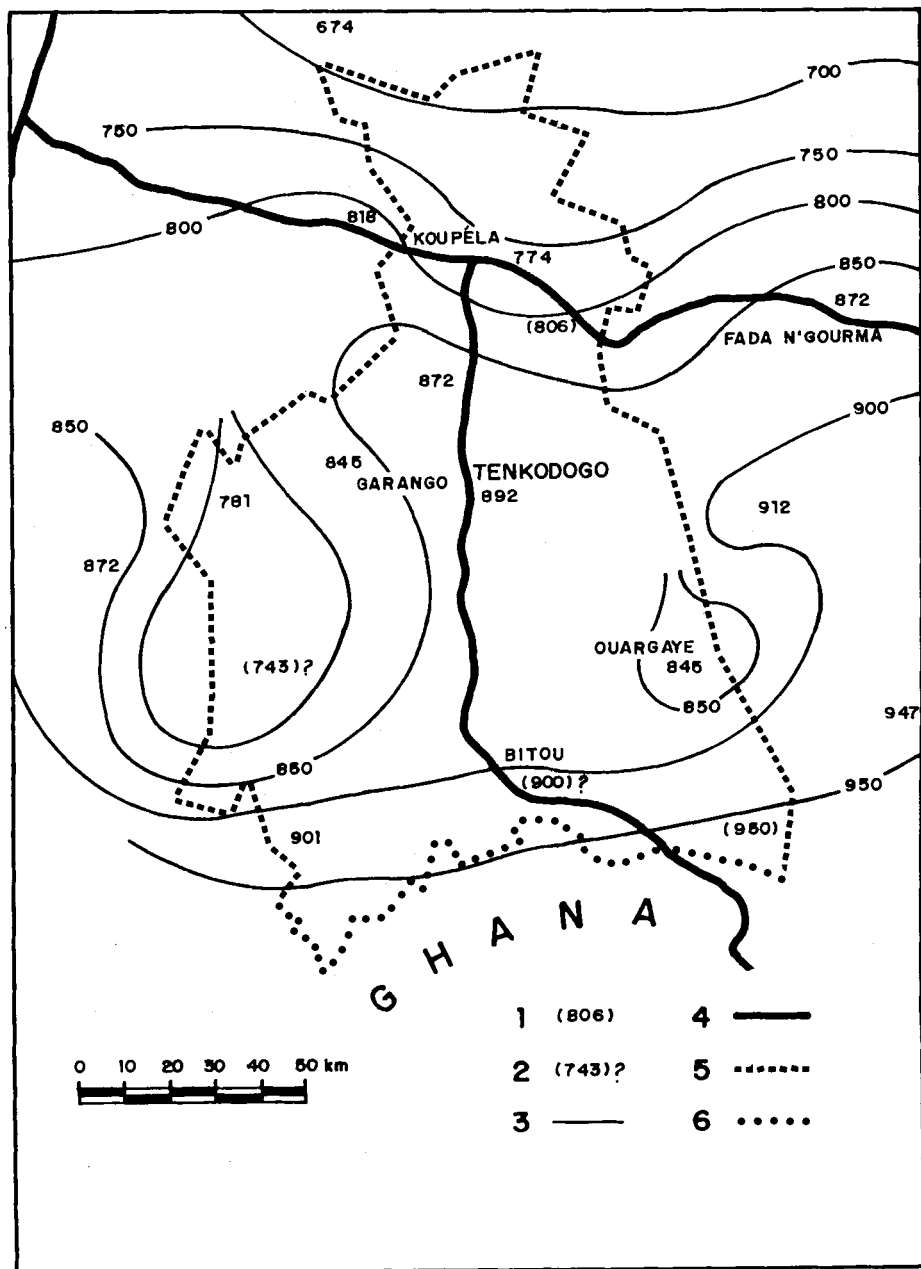


FIG. 2 — CARTA DELLE ISOIETE (1966-1979).

1, dato incompleto; 2, dato incompleto e proiettato; 3, isoietta; 4, strada asfaltata; 5, limite dell'area studiata; 6, confine internazionale.

**PIOGGIA MEDIA E PIOGGIA EFFICACE (mm) NELLA REGIONE
CENTRO-ORIENTALE DEL BURKINA FASO
SECONDO IL COEFFICIENTE MEDIO DI FADA E PO**

Località	Pioggia media 1966-85	% Pioggia efficace a Fada e Po	Pioggia efficace calcolata
Tenkodogo	845	18	152
Ouargaye	806		145
Koupela	717		129
Gombossogou	(727)		(131)
Zabré	855		154
Garango	(821)		(148)

Pertanto è opportuno procedere a due bilanci idrici secondo i metodi generalmente ritenuti più attendibili, cioè quelli di Penman e Dastane.

Per una trattazione esauriente del metodo Penman rimandiamo ai testi specializzati, in particolare a Doorenbos e Pruitt (1977); qui ricordiamo solo la formula:

$$ET_o = c[w \cdot R_n + (1-w) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d)]$$

in cui ET_o = evapotraspirazione della pianta di riferimento (nel nostro caso 20 cm di erba verde) in mm/giorno; c = un complesso fattore di aggiustamento che considera il contrasto tra i parametri meteo del giorno e della notte; w = un fattore che considera quota e differenza tra la $T^\circ C$ max e $T^\circ C$ min.; R_n = l'evaporazione massima (in mm/giorno) teoricamente possibile dovuta alla posizione reciproca del sole e del luogo considerato; $f(u)$ = funzione dello spazio percorso dal vento nella giornata media; $(e_a - e_d)$ = differenza tra tensione di saturazione in vapore dell'aria a una data temperatura e la reale tensione rilevata.

Purtroppo tra le stazioni sinottiche — cioè quelle che danno tutti i parametri necessari per il calcolo dell'evapotraspirazione secondo Penman — del «Bulletin décadaire» edito dal Météo National, nessuna cade entro i limiti territoriali del progetto italiano.

Consideriamo quindi le due stazioni più vicine, quella di Fada N'Gourma (90 km a NE di Tenkodogo, baricentro del progetto) e quella di Po (110 km a SO della stessa località). Per brevità non riportiamo le lunghe tabelle di dati, ma solo il loro risultato medio tra gli anni 1981 e 1985: per Fada, su 715 mm di pioggia è efficace il 17%, pari a 125 mm; per Po è efficace il 20% dei 765 mm caduti, cioè 152 mm. Pertanto se prendiamo un valore medio ponderato del 18%, vediamo nella tab. 3 quale sarebbe la pioggia efficace.

METODO DASTANE PER LA STAZIONE DI TENKODOGO

Decade	80% mm «bac A»	mm pioggia	% pioggia utilizzata	Media mensile
I/ 5/86	150	12	100	100
II/ 5/86	102	28	100	
III/ 5/86	66	36	100	
I/ 6/85	110	6	100	100
II/ 6/85	135	3	100	
III/ 6/85	73	7	100	
I/ 7/85	95	25	100	100
II/ 7/85	50	40	100	
III/ 7/85	35	52	100	
I/ 8/85	29,7	76,8	39	47
II/ 8/85	19	41	46	
III/ 8/85	50,4	92	55	
I/ 9/85	28,3	49,5	57	47
II/ 9/85	23,1	88,4	26	
III/ 9/85	26,5	46,4	57	
I/10/85	68	35	100	100
II/10/85	72	40	100	
III/10/85	70	25	100	

Dastane fa economia di dati e parte dalla pioggia giornaliera e dall'80% dei mm quotidianamente evaporati dal «bac standard A», assai diffuso. Poi lo aggiorna secondo specifiche caratteristiche del suolo e della densità di pioggia: infatti i dati della pioggia e del «bac A» sono confrontati sommando gruppi di giorni che variano da 4 a 30 secondo le caratteristiche del clima e della tessitura media del suolo. Nel nostro caso verranno confrontati per decenni, per rispettare le caratteristiche pedologiche e meteorologiche medie di un territorio di circa 12.000 km².

Il progetto italiano sta organizzando a Tenkodogo una sua stazione agrometeorologica. Sarà una stazione sinottica, ma oggi sono disponibili solo alcuni dati. Abbiamo quelli del «bac A» dal giugno 1985 al maggio 1986: giusto un anno.

Nella tab. 4, sono riportati i dati secondo il metodo Dastane.

Il tasso di pioggia efficace (media dei mesi) è 15,6%. Riteniamo dunque il valore del 16% ottimamente allineato con quelli più sofisticati di Fada e Po.

Quanto finora detto ci consente alcune conclusioni parziali. Infatti, utilizzando il metodo di Thiessen, il territorio del progetto è stato diviso in 7 poligoni che danno un totale di 11.920 km² e conducono ad una media ponderata di 803 mm di pioggia per anno. Se la percentuale di pioggia efficace è del 16%, per noi rimangono disponibili 128 mm ogni anno, pari ad un volume di 1,5 miliardi di metri cubi.

B) *Livello sub-regionale.* — Lo scudo voltaico fa parte dello zoccolo cristallino di base del continente africano. La geologia della zona è stata studiata da Sagatzky (1950), poi da Trinquard (1971) e da Hottin e Ouedrigo (1975). Per ragioni di praticità, dati i nostri intenti, è stato ridotto a 5 il numero di litotipi che negli autori citati era rispettivamente di 9,38 e 25: i primi quattro appartengono al Precambriano «D» (Antebirrimiano) e l'ultimo, cioè i graniti sin- e tardo-tettonici, al Precambriano «C» (Birrimiano) (fig. 3).

L'area studiata è dunque prevalentemente formata da rocce cristalline, permeabili solo per fratturazione. Quelle più antiche, precedenti alle tensioni tettoniche, sono più fratturate di quelle tardo-tettoniche, che al momento delle sollecitazioni erano ancora relativamente plastiche. Attraverso le fessure si è sviluppata in profondità l'alterazione dei silicati con formazione di argille e sabbie quarzifere.

SIMBOLO	DEFINIZIONE	ROCCE RAGGRUPPATE	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE
«D»	Migmatiti a biotite ed anfiboli	Gneiss, leptiniti, migmatiti leptiniche, a biotite, ad anfiboli, gneissiche a biotite	Frequente permeabilità per fratturazione; alterazione prevalentemente argillosa; probabile piccola portata
«Mg»	Migmatiti e graniti indifferenziati		Frequente permeabilità per fratturazione; alterazione prevalentemente sabbiosa; probabile portata media
«A»	Ultrabasiti	Anfibolo-piroseniti, metagabbri noritici	Alterazione argillosa; acqua possibile solo sui bordi
«Vs»	Serie vulcano-sedimentaria	Facies tarkwaiana, metasedimenti argillosi o argillo-sabbiosi, metavulcaniti e piroclastiti acide; tufi, lave e sedimenti associati. Metavulcaniti da neutre a basiche (ex «scisti birrimiani»)	Permeabilità assai ridotta; portata probabile debole
«C»	Graniti sin- e tardo-tettonici	Graniti e granofiri alcalini, sieniti, graniti a tendenza alcalina, graniti e granodioriti indifferenziati. Graniti a biotite e muscovite, graniti a muscovite e poca biotite, graniti a biotite ed anfiboli, granodioriti, graniti calcio-alcalini, granodioriti e tonaliti indifferenziati	Permeabilità per fratturazione; alterazione sabbiosa; portata: 1m ³ /h frequente, 10 m ³ rari ma possibili →

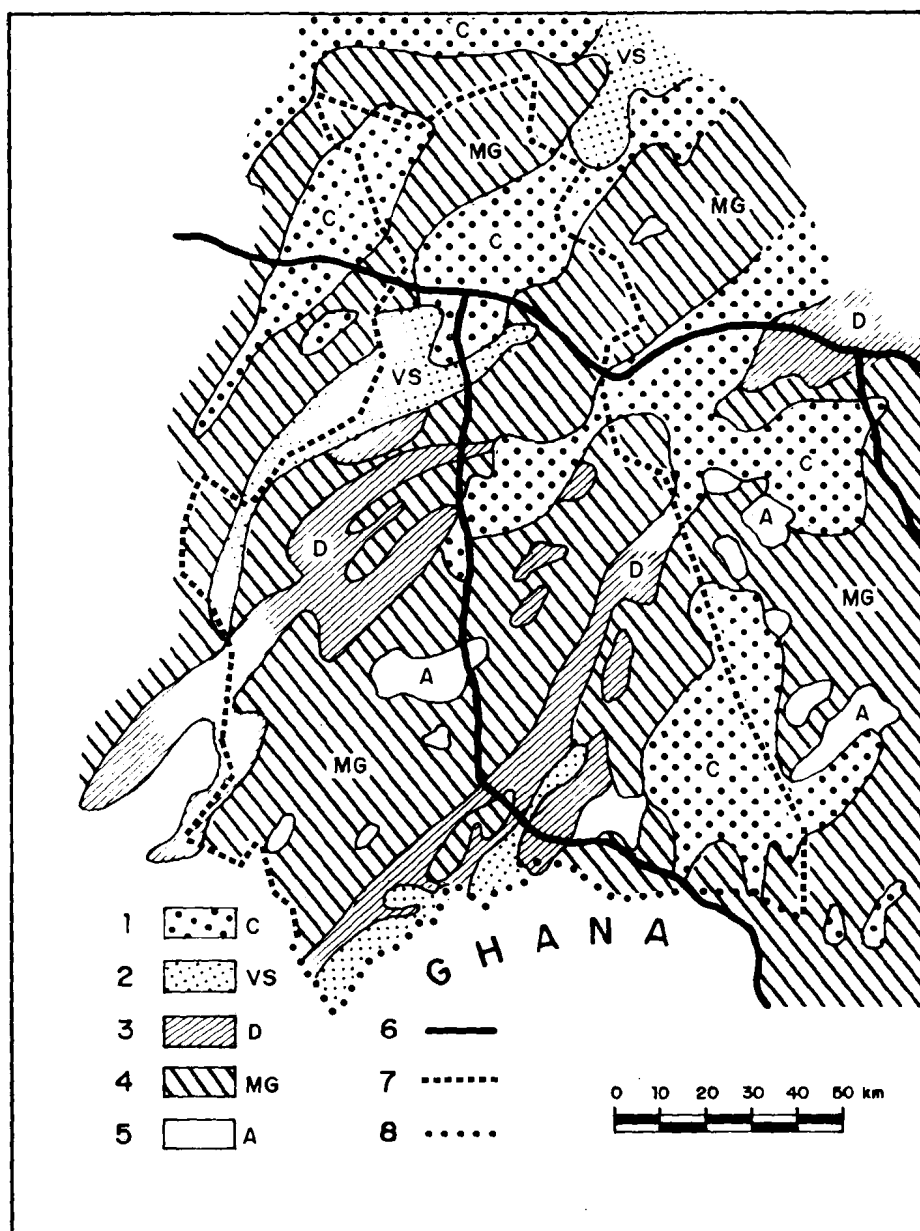


FIG. 3 — CARTA GEOLOGICA SEMPLIFICATA.

1, Precambriano «C» (Birrimiano): graniti sin- e tardo-tettonici a biotite; 2, serie vulcano-sedimentaria; 3, Precambriano «D» (Antebirrimiano): migmatiti a biotite e anfiboli; 4, migmatiti e graniti indifferenziati; 5, basiti; 6, strada asfaltata; 7, limiti dell'area studiata; 8, confine internazionale.

Per i simboli, v. legenda alla pag. a fronte.

Le rocce cristalline del basamento africano hanno subito profonde sollecitazioni che si manifestano in una serie di fratture e faglie. Queste faglie agiscono a profondità da una ventina di metri fino ad un centinaio, come reticolo di collettori del drenaggio delle soprastanti sabbie sature.

Su tali faglie si cerca di effettuare le perforazioni, anche perché su di esse si sono impostati per lo più i maggiori corsi d'acqua: i due Volta e il Nouhao. A livello sub-regionale sono specialmente importanti quelle, almeno decachilometriche, orientate nei quadranti NO-SE. Queste faglie sono il più grosso punto interrogativo del sistema, perché non esistono ancora dati geofisici che permettano di valutare le dimensioni e, grosso modo, le caratteristiche idrauliche del materiale di cui sono volta a volta riempite.

Per quanto riguarda la morfologia e il ruscellamento, uno sguardo alla carta con i poligoni di Thiessen (fig. 4) è sufficiente per notare che i settori settentrionale e meridionale del territorio dell'area studiata non sono uguali.

Notiamo che le strade corrono sugli spartiacque; il Volta Bianco e il Volta Rosso presentano segmenti rettilinei che fanno supporre di essere impostati su faglie; e così avviene anche per il corso del Nouhao.

Il settore settentrionale è drenato dal Sirba che va verso il Niger a est; a Pissi, a N-NO di Koupela, esso si trova a quota 276, e dopo 60 km, all'incrocio con la strada che scende da Fada N'Gourma, è a quota 259 m: la pendenza è quindi dello 0,03%. Il Sirba è pigro, incerto e gli affluenti sono rari. La strada asfaltata di Koupela segna il limite del suo bacino.

A sud di questa strada, il drenaggio è più vivace e articolato; il Volta Bianco, verso Beguedo, ha quota 230, e 20 km dopo, all'uscita dal Burkina, ha quota 180: pendenza 0,25%.

Deduciamo, perciò, che il Nord ha un po' meno mm di pioggia, ma li conserva meglio.

Abbiamo comunque anche altre voci in uscita dal nostro bilancio: per esempio fughe di acqua dal sistema, per ruscellamento.

Secondo uno studio del territorio per mezzo delle immagini Landsat, «le zone di saturazione si trovano in generale assai sotto la superficie (10-20 m) e, di conseguenza, sotto il letto della maggior parte dei corsi d'acqua. In tale situazione non esiste alcuna possibilità di uscita di acqua dagli acquiferi per gravità. Rispetto alle acque sotterranee la maggior parte dei corsi d'acqua sono affluenti, non effluenti» (TAMS, 1980).

Sono stati esaminati i dati idrografici di tutte le stazioni di misura della zona: ebbene, sia il Nouhao a Bittou, sia il Kompienga a Tagou, sia il Sirba a Bossegal e a Bilanga, il Tcherbo a Bagré, il Volta Bianco a Bissiga, Wayen, Niahogo, Yakala e Bagré, il Volta Rosso a Dakaye e Noberé, tutti i corsi vanno in secca poco dopo la fine delle piogge, e questo conferma quanto asserito dall'«Étude Landsat»: sono i corsi d'acqua ad alimen-

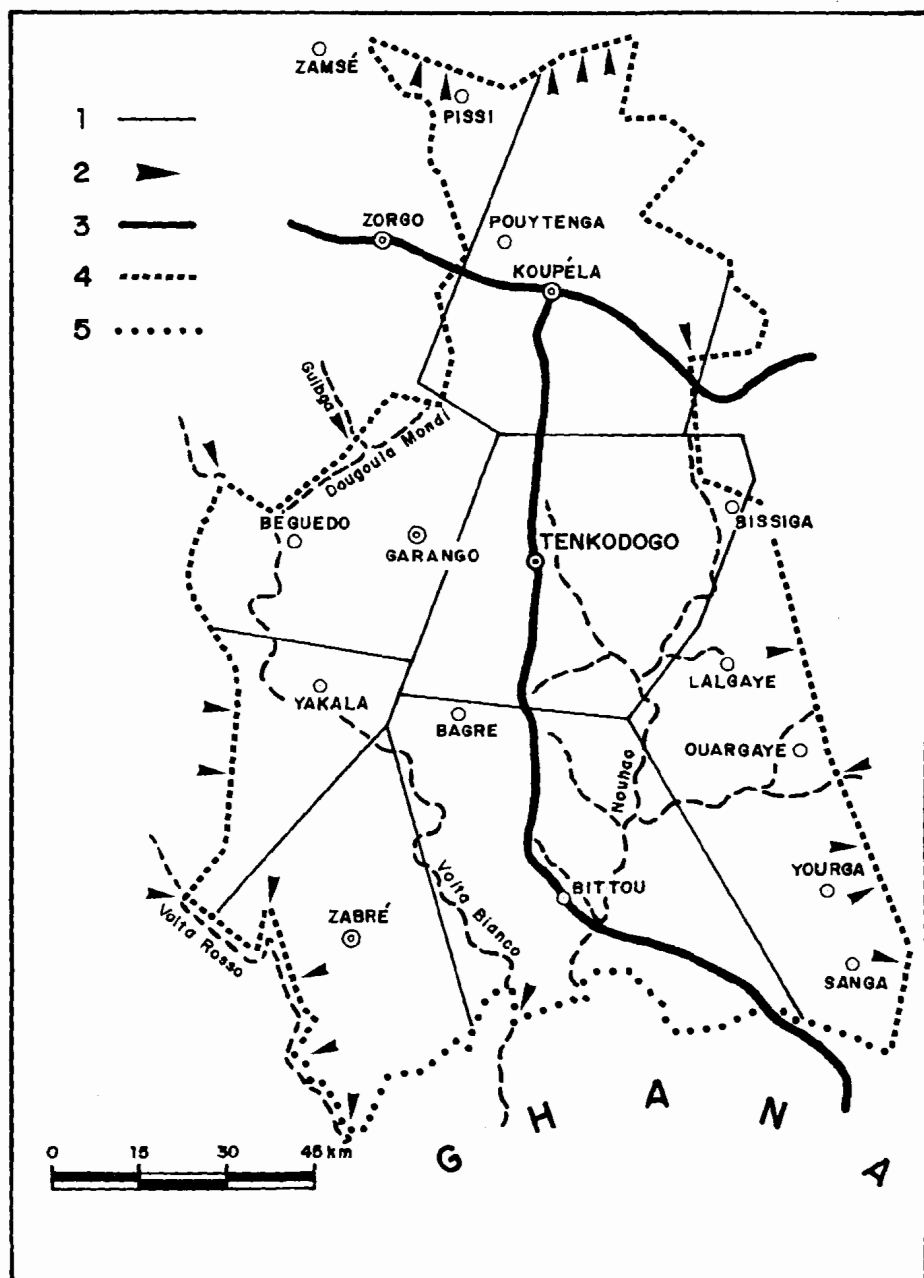


FIG. 4 — INTERAZIONI CON I BACINI IMBRIFERI CONTIGUI.

1, poligoni di Thiessen; 2, scambi tra bacini; 3, strade asfaltate; 4, limiti dell'area studiata; 5, confine internazionale.

**COEFFICIENTI MEDI DI RUSCELLAMENTO
NELLA REGIONE CENTRO-ORIENTALE DEL BURKINA FASO**
(tipo di roccia di base: granito)

Bacino	Caratteristiche	Superf.	Coeff. medio %	Equiv. mm pioggia eff.
Boulssa	Poco perm., pianeggiante	1.010	3,9	22
Sirba (Garbey Kourou)	Argille su granito, pendenza molto debole	38.750	1,7	30
Massili (Lumbila)	Argille su granito pianeggianti, coltivato	2.120	2,2	18
Volta Rosso (Sakoince)	Piano, argilloso	1.210	2,0	18
Volta Bianco (Yakala)	Granito e alterazione, pianeggiante	33.000	3,1	30
Coefficiente medio di ruscellamento			2,6	

tare la falda, non viceversa, quindi c'è impoverimento del sistema solo tramite ruscellamento.

Secondo i pochi dati disponibili delle portate in entrata e in uscita dal nostro territorio, i vari corsi d'acqua, specialmente i due Volta e il Nouhao, mobilizzerebbero rispettivamente $20 + 3 + 10 = 33 \text{ m}^3/\text{s}$, cioè circa 1 miliardo di m^3 ogni anno, raccolti sui 30.000 km^2 dei loro bacini idrografici: se solo un terzo di questi bacini sono nel territorio in esame, anche la portata che ci riguarda dovrebbe essere un terzo del totale e un terzo di 1 miliardo di m^3 all'anno sarebbero circa 25 mm di pioggia che si perderebbero in ruscellamento.

Ma questa valutazione potrebbe sembrare troppo grossolana e poco soddisfacente; quindi, per la valutazione del coefficiente di ruscellamento, ci riferiamo ad una tabella elaborata da Rodier e riferita da Puech (1984). In essa, per la fascia 750-1000 mm di pioggia annua, vengono riportati dati relativi a bacini simili ai nostri per caratteri idrologici e idrografici (tab. 5).

Ciò significa che per una pioggia di 803 mm si hanno 21 mm di pioggia efficace e, pertanto, il valore approssimato proveniente dalle portate differenziali riceve un'autorevole conferma.

Come si ricorda, disponevamo di una pioggia efficace di 128 mm; ma anche scendendo a 107 mm, che arrotondato per difetto significa 1,2 miliardi di m^3 per tutto il territorio, si dispone sempre di un valore sicuramente in grado di assicurare la vita in questo spazio. Ma non basta che ci

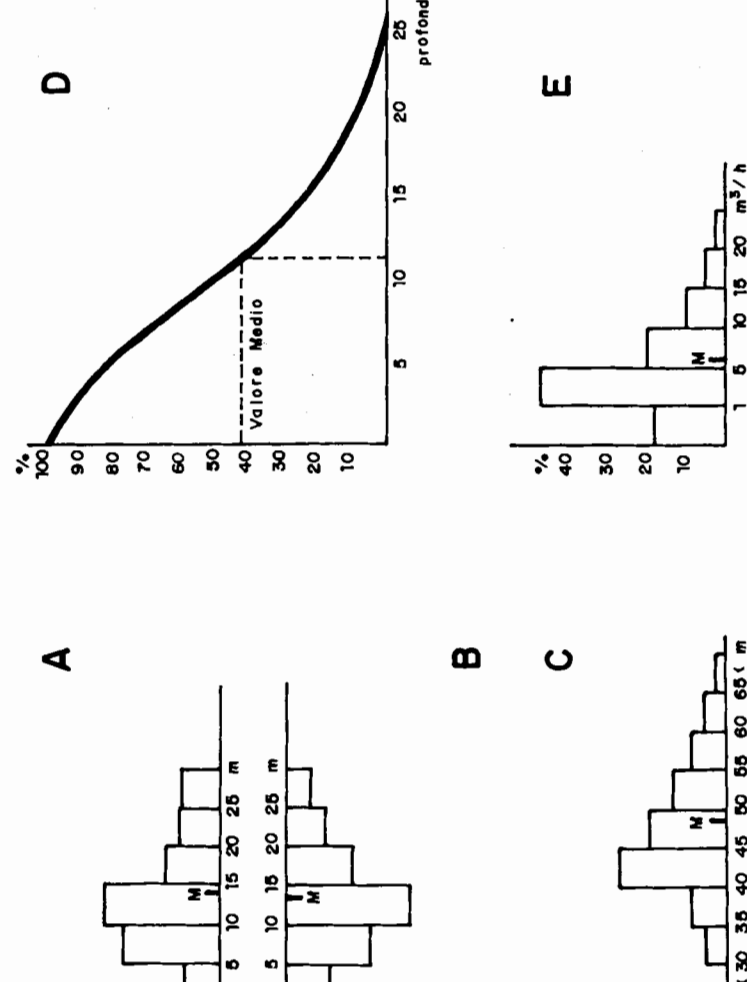


FIG. 5 — VERIFICA DEL SERBATOIO

o spessore delle sabbie in m (M = media ponderata); B, frequenza dello spessore sterile di argilla in m (M = media ponderata); C, frequenza della profondità totale delle perforazioni in m (M = valore medio); D, probabilità di incontrare un livello statico a profondità n (M = valore medio).

**TRASMISSIVITÀ DELLE PERFORAZIONI NEI CENTRI
DI ALLEVAMENTO AVV (DATI IWACO)**

Località	Trasmissività «T» in m ² /s
Dango 1	$5,5 \cdot 10^{-4}$
Dango 2	$6,6 \cdot 10^{-4}$
Loaba	$5,7 \cdot 10^{-4}$
Loanga 1	$7,6 \cdot 10^{-5}$
Loanga 2	$2,5 \cdot 10^{-4}$
Niangden	$6,1 \cdot 10^{-4}$
Media	$4,6 \cdot 10^{-4}$

sia questa disponibilità; dobbiamo vedere infatti se esiste un serbatoio geologico capace di immagazzinare tutta o buona parte delle piogge efficaci residue, a cui attingere nella lunga stagione asciutta. Ciò va verificato sotto l'aspetto delle dimensioni geometriche e sotto quello delle caratteristiche idrauliche, senza dimenticare di valutare le condizioni di tenuta ai limiti.

Per capire se esiste un serbatoio sono stati analizzati i dati di tutte le perforazioni disponibili al momento, pari a 152. Di queste il 69% presenta uno spessore di sabbie tra i 5 e i 20 m: media ponderata di 14 m (fig. 5A); e il 73% ha uno spessore sterile tra 5 e 20 m: media ponderata 13 m (fig. 5B).

La somma dei due valori precedenti ci fornisce lo spessore medio dell'alterazione sopra il cristallino, che è di 27 m. Ma poiché l'82% delle perforazioni ha una profondità maggiore di 35 m e la media è di 47 m, sono stati perforati una ventina di metri nel cristallino stesso (fig. 5C).

La probabilità di incontrare un livello statico a profondità maggiore di 0 m è del 100%; il valore più probabile in media è di 11 m (fig. 5D): abbiamo cioè $47 - 11 = 36$ m di serbatoio saturo, in particolare sabbie, che sono un po' in pressione ed hanno il loro livello statico a 2 m oltre il loro tetto.

Il coefficiente di immagazzinamento nelle fessure del cristallino è normalmente bassissimo e tale funzione è svolta dalle sabbie, pari a 14 m saturi nelle nostre perforazioni.

Ma tali perforazioni sono volutamente ubicate nei punti di massimo sviluppo dell'alterazione sabbiosa: perforazioni fatte a caso incontrerebbero spessori saturi minori e solo una su due in media raggiungerebbe i

**FLUTTUAZIONE STAGIONALE DEI LIVELLI STATICI
NELLA REGIONE CENTRO-ORIENTALE DEL BURKINA FASO**

Località	Data	Liv. st.	Data	Liv. st.	Differenza
Boala	30-5-85	18,05	15-9-85	17,45	1,55
Dagamtenga	3-6-85	13,65	25-2-86	12,45	1,2
Dassouri	4-6-85	6,8	12-3-86	6,03	0,77
Kougsabla	8-6-85	6,6	4-9-85	4,84	1,76
Loanga 2	10-6-85	18,26	8-9-85	17,67	0,59
Koupela	17-7-85	12,0	14-9-85	11,31	0,69
Pouytenga	22-7-85	9,63	17-9-85	9,30	0,33
Sassema	13-6-85	5,0	9-9-85	3,75	1,25
Bassaré	26-6-85	5,15	11-3-86	3,30	1,85
Ouargaye	12-7-85	10,0	16-3-86	9,43	0,57
Tengasoba	9-7-85	4,39	3-9-85	3,01	1,38
Zigla K.	30-6-85	4,80	23-8-85	3,82	0,98
Vagvagué	27-6-85	7,40	10-9-86	3,63	3,77

nostri risultati. Quindi consideriamo che sul territorio in esame ci sia un manto non di 14 m, ma di soli 7 m di sabbie sature. Pertanto avremo $11.920 \text{ km}^2 \times 7 \text{ m} = 83$ miliardi di m^3 di sabbie sature.

Nella tab. 6 vengono riassunti i valori medi della trasmissività desunti da sei prove di portata di durata inferiore alle 10 ore.

Si tratta di un coefficiente fittizio perché il nostro acquifero non è né semplice né isotropo: infatti è costituito da una parte drenante, cioè dalle fratture nel cristallino a permeabilità massima e capacità minima, e dalle sabbie che, inversamente, hanno permeabilità limitata, ma capacità di immagazzinamento elevata.

Per una buona valutazione di questo fittizio coefficiente di immagazzinamento sono previste prove di portata con piezometri, fino a 48 ore di durata (2).

Ma queste prove non sono ancora disponibili e per valutare il coefficiente di immagazzinamento dobbiamo ricorrere alla fluttuazione stagionale dei livelli statici (tab. 7).

Non è possibile effettuare la media perché le osservazioni non sono abbastanza numerose, né abbracciano sicuramente tutta l'ampiezza del-

(2) Le 48 ore sono imposte dalla esperienza di una perforazione eseguita dal BUMIGEB (Bureau des Mines et Géologie du Burkina), che alla prova di portata sembrava tradurre un mezzo perfettamente omogeneo, finché dopo 18 ore si è bruscamente prosciugata: evidentemente la diffusività media del mezzo aveva interessato ed esaurito tutta una serie di fratture non ulteriormente alimentate.

la fluttuazione stagionale. Assumendo il valore cui corrisponde il minimo immagazzinamento e per una pioggia efficace residua di 107 mm otteniamo:

$$0,107 : 3,8 = X : 100; \quad X = 2,8\%.$$

Questo significa che il nostro serbatoio di 83 miliardi di m^3 di sabbie con coefficiente di immagazzinamento $S = 2,8\%$ contiene: $83 \cdot 10^9 \cdot 2,8\% = 2,3 \cdot 10^9 m^3$, di cui 1,2 si rinnovano ogni anno.

L'area studiata non è costituita da un bacino idrografico chiuso. Per questo dobbiamo verificare le possibili condizioni di interazione con bacini contigui. In base a quanto visto parlando di ruscellamento, trascuriamo la possibilità di scambi tra corsi d'acqua e falda al di fuori del momento delle piogge, ma teniamo ben presente l'influenza della tettonica distinta da faglie radiali rispetto all'area interessata dal progetto italiano.

L'interazione con i bacini contigui può essere brevemente così riassunta (fig. 4). Si hanno guadagni: da E presso Ouargaye (corso del Nohao), da SO (Volta Rosso) e da O, tra Gombossogou e Koupela (Volta Bianco con i suoi affluenti e subaffluenti: Dougoula Mondì e Guibga). Le perdite vanno verso il corso del Kompienga sia a NE, presso Zansé, e sia ad E, presso Lalgaye e Yourga. Ulteriori perdite si hanno a SE presso Sanga (corsi anonimi) e a S per opera del Nohao, del Volta Bianco e del Volta Rosso.

Da una rapida valutazione secondo la formula classica $Q = T \cdot I \cdot L$ (Q è la portata in m^3/s , T rappresenta la trasmissività in m^2/s , I è l'inclinazione del suolo normale alla sezione in % ed L la lunghezza della sezione che qui è pari a 1000 m), abbiamo: $Q = 4,6 \cdot 10^{-4} \cdot 0,25 \cdot 1000 = 0,1 m^3/s/km$, che, riferito ad un anno, dà 3,5 milioni di $m^3/anno/km$ di sezione; ciò significa che, anche nel caso di sezioni in perdita da 100 fino a 10.000 m, non penalizzeremmo sensibilmente le scorte di 1,2 miliardi di $m^3/anno$.

Ma sotto le sabbie ci sono le faglie. Engalenc e Berger (1979) riportano che Y.V. Marine nel 1965 e L. Turnet nel 1975 hanno studiato, usando come tracciante il trizio, le velocità di percolamento nei cristallini fessurati africani: si è rilevato che contro 1-30 m/anno in drenaggio normale, si possono raggiungere i 500 m/anno sotto azione di un drenaggio indotto da un pompaggio (3). Comunque, se nelle sabbie abbiamo velocità di circa 1 m/giorno, nelle fessure possiamo avere al massimo valori cinque volte maggiori. Per buona misura consideriamo che le sezioni in perdita siano di 10 km maggiori delle sezioni in guadagno e con trasmissività cinque volte maggiore di quella delle sabbie: $Q = 3,5 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 5 = 1,75 \cdot 10^8$. In definitiva, se erano rimasti 1,2 miliardi di m^3 , ora ne sottraiamo 175 mi-

(3) Per quanto riguarda il pompaggio, notiamo che, se ci sarà, esso sarà all'interno del limite e quindi provocherà il benefico effetto di ridurre le perdite della nostra area.

lioni che arrotondiamo per eccesso a 200 e restiamo comunque con un miliardo di m³ annui.

Quanto fin qui osservato e discusso ci consente alcune conclusioni parziali.

Nell'area indicata abbiamo 1,5 miliardi di m³ di pioggia efficace all'anno, che scendono a 1,2 per le perdite da ruscellamento superficiale, e a 1 per le perdite dovute a faglie ai limiti dell'area. Abbiamo anche un serbatoio saturo di circa 2,3 miliardi di metri cubi.

Purtroppo non esistono dati o elementi per verificare secondo quale modello funzioni il tutto, ma sembra che gli emungimenti attuali non squilibrino il sistema che rimane quindi in crisi per la diminuzione di piogge, non per l'eccesso degli emungimenti.

Ognuno dei 600.000 ab. del comprensorio può consumare tutta l'acqua che l'economia e la tecnica di cui dispone oggi, e disporrà nell'immediato futuro, possano richiedere. Ma se la pioggia diminuisce di qualche centimetro all'anno, la ricarica scende bruscamente a valori irrisori.

Engalenc e Berger (1979) dichiararono che «l'alimentazione delle falde resta precaria finché le piogge non superano gli 800 mm in steppa e savana o i 1200 in zone di foreste». Secondo questi autori, a partire dagli 800 mm, «la ricarica utile sarebbe del 7%, per salire al 24% ai 1200 mm e al 34% ai 1600 mm».

Gli stessi autori citano precedenti studi sull'argomento della ricerca utile e in particolare vanno ricordati:

COMPEC	(1968) in cui si propongono per l'Alto Volta	9300-18.600	m ³ /anno/km ² ;
Lemoine	(1975) che propone per l'Alto Volta	108.000	m ³ /anno/km ² ;
BRGM	(1975) per cui la proposta per il Sahel è di	100.000	m ³ /anno/km ² ;
Haubert	(1977) che propone per la Costa d'avorio	5000-34.500	m ³ /anno/km ² .

I nostri risultati, basati su dati non numerosi, ma affidabili e realistici, convergono verso l'ordine di grandezza di 8×10^4 m³/anno/km². Infatti, se tra i volumi della ricarica annua e il serbatoio il punto più debole sta nella ricarica, consideriamo solo questa: ebbene 1×10^9 m³: 11.920 km² = 0,08 m.

Praticamente la ricarica annua relativa ad 803 mm di pioggia media equivale ad una lama di 8 cm su tutto il territorio, vale a dire circa 80.000 m³/anno/km², pari a circa 2,5 l/s/km².

Ricordiamo che nella zona i carcerati di Tenkodogo gestiscono il loro ettaro irriguo, da pozzo a largo diametro (dell'assistenza italiana anch'esso), con 10 m³/giorno: l'innaffiamento, secchio a secchio, permette questo risparmio sul valore più comunemente accettato per uso intensivo in questi climi, che è di 1 l/s/ha.

C) *Livello locale*. — Il progetto ha in esecuzione 400 perforazioni di cui 145 positive già eseguite (agosto 1986): 33 da AVV (Aménagement des Vallées des Voltas), 50 da BUMIGEB (Bureau des Mines et Géologie du

Burkina), 62 da DPFH (Direction des Puits, Forages et Hydrologie).

I contratti in corso prevedono perforazioni da 9" 7/8 o 12" «rotary» nelle alteriti e da 6" 1/2 «martello» nel cristallino. Sono equipaggiati con «casing» in PVC alimentare 10 bar 4" 1/2 (= 110 - 125 mm): questo diametro si presta bene alla installazione di pompe a mano fino ad 1 m³/h.

Per una portata un po' più spinta (dell'ordine di una decina di m³/h) è necessaria una pompa elettrica sommersa: ne esistono nominalmente da 4", ma è meglio che il «casing» sia da 5".

Per la perforazione a piccolo uso agricolo viene proposto il seguente schema: 12" 1/4 perforazione nelle alteriti, 9" 7/8 tubo provvisorio, cementazione per 4 - 6 m, riempimento della corona circolare con «rinfusa»; 8" 5/8 perforazione nello zoccolo oppure 6" perforazione e 8" 5/8 rialesaggio; filtri in PVC da 1 mm, diametro 150-165 mm, massiccio filtrante «grano di riso» lavato da 2-6 mm, tubo chiuso di fondo in PVC pieno da 2 m.

I filtri attuali sono in PVC fessurato (6 fessure da 1 mm × 25 mm all'interno, 125 fessure per metro di PVC 110-125 mm). Per evitare la velocità critica dell'acqua, di 2,5 cm/s, un m di tale filtro dovrà pompare meno di 0,45 l/s = 1,7 m³/h.

Per fronteggiare la possibilità di far passare 30 m³/h (abbiamo almeno due perforazioni da 36 m³/h), ci vorrebbero dunque una ventina di metri di filtri immersi in regime dinamico: il che non è facile.

Per ridurre di 5 volte la lunghezza dei filtri senza turbare la laminarità del flusso, non basta aumentare il diametro a 6"; è opportuno il filtro tipo Johnson con il 20% di vuoti. I «Johnson» oggi si trovano anche in PVC: sono fisicamente più deboli di quelli in acciaio, ma chimicamente più resistenti all'aggressività delle acque acide, come sono spesso quelle del cristallino africano.

Nel Burkina Faso centro-orientale, nell'ambito del progetto finanziato dall'Italia e avente per agenzia di esecuzione la FAO, sono in corso di esecuzione perforazioni per fornire acqua potabile ad altrettanti villaggi altrimenti in estrema difficoltà.

La validità del lavoro ha fatto sì che all'arco delle 150 perforazioni emergesse un'eccedenza di acqua prodotta: 5 m³/h contro la media contrattualmente preventivata di 1 m³/h. Di qui la proposta di utilizzare queste acque per mini-progetti irrigui, di un ettaro, da affidare alla gestione delle donne di ogni villaggio.

La reazione favorevole degli organismi competenti è stata realista ed ha chiesto un preliminare esame della situazione idro-geo-meteorologica, per verificare se le acque in questione avessero durata nel tempo e non fossero soggette ad un rapido e malaugurato esaurimento per mancanza di rialimentazione.

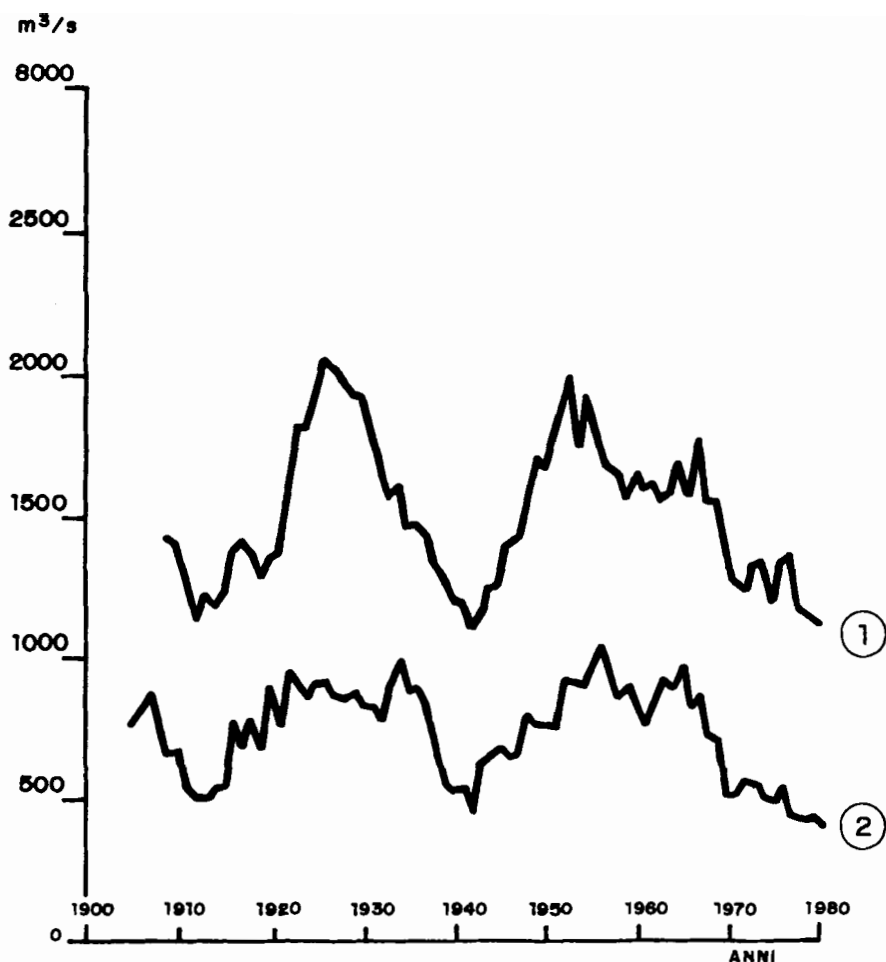


FIG. 6 — EVOLUZIONE DELLE PORTATE MEDIE DEL NIGER A KULIKORO (1) E DEL SENEGAL A BAKEL (2) DAL 1905 AL 1980 (da Puech).

I fiumi del Sahel hanno registrato, nel corso del secolo, periodi con portate particolarmente basse; se ne era dedotto un ciclo trentennale, e quando dopo il 1970 non si è verificata la ripresa si è gridato alla catastrofe. La periodicità, se esiste, è più complessa e l'uomo ha contribuito a complicarla.

Un bilancio di massima delle entrate e delle uscite è stato dunque eseguito: si è constatato che nella regione il valore delle piogge diminuisce dagli anni '70 ad oggi, ma parrebbe che anche questo ciclo a periodicità complessa sia alla fine (fig. 6); del resto le ultime inedite e frammentarie misure di piovosità sembrano confermare questo orientamento. Su questa base si sono calcolate le piogge efficaci e le perdite per ruscellamento; poi si è constatato che è disponibile nella sub-regione un serbatoio di caratteristiche geometriche e idrauliche tali da poter immagazzinare alcuni anni di pioggia efficace.

In particolare, prima di un emungimento spinto di tutte le perfora-

zioni esuberanti, sono necessarie prove di portata per la durata di 3-4 giorni, osservazioni con piezometri, sezioni geofisiche sulle dimensioni e qualità delle faglie attraverso cui si possono perdere ingenti volumi d'acqua, osservazioni periodiche per stabilire serie statistiche prolungate. Dall'esame dei dati disponibili è risultato che la ricarica delle perforazioni eseguite è sufficiente finché le piogge medie non scendono sotto gli 800 mm/anno; in tal caso il territorio studiato, con una percentuale di pioggia efficace del 16%, un coefficiente medio di ruscellamento del 2,6% e 200 milioni di m³ annui di perdita verso altri bacini, raccoglie circa un miliardo di metri cubi annui. Questa ricarica dispone di un serbatoio naturale, sotterraneo, capace di immagazzinare riserve per circa due anni e mezzo.

Si può concludere, pertanto, con una valutazione favorevole alla realizzazione di campicelli irrigui ad uso familiare, con la contemporanea raccomandazione di ulteriori prove di portata e di misure idrologiche e geofisiche (4). La disponibilità di acque è il primo fondamentale punto nella lotta alla siccità e l'indispensabile premessa a tutta una serie di iniziative agrarie, zootecniche e sociali che vanno affrontate di pari passo e soprattutto nel rispetto della cultura e delle abitudini delle genti del Sahel. Con questo lavoro si è inteso fornire un apporto costruttivo alla soluzione del primo problema nel Centro-est burkinabé e verificare una metodologia che, se estesa ad altri territori, potrebbe favorire il recupero duraturo di ampi spazi e, comunque, evitare le delusioni e i costi di iniziative rese effimere dal successivo venir meno delle acque.

BIBLIOGRAFIA

- BEUDOT F., *Eléments de bibliographie sur la sécheresse au Sahel*, Parigi, OCDE, 1983.
- BUCKLE C., *Landforms in Africa*, Harlow, Longman, 1978.
- (Il) contributo dell'irrigazione alla soluzione del problema della fame nel Sahel: esigenza di un nuovo approccio al problema, Roma, Ist. Italo-Africano, 1983.
- DASTANE N.G., *Précipitations efficaces*, Roma, FAO, 1977.
- DOORENBOS J. e PRUITT W.O., *Crop water requirements*, Roma, FAO, 1977.
- DRESCH J., *Géographie de régions arides*, Parigi, PUF, 1982.
- ENGALENC M. e BERGER J., *Méthodes d'étude et de recherche de l'eau souterraine dans le cristallin de l'Afrique de l'Ouest*, Ouagadougou, CIEH, 1979.

(4) Per l'equipaggiamento delle future perforazioni si suggerirebbe un profilo con una maggiore percentuale di vuoti nei filtri, più idonea ad essere utilizzata per più usi, come acqua potabile e piccola irrigazione.

- ERHARD-CASSEGRAIN A. e MARGAT J., *Introduction à l'économie générale de l'eau*, Parigi, Masson, 1983.
- FAGGI P., *Il problema della desertificazione nella geografia delle terre asciutte*, in «Riv. Geogr. Ital.», Firenze, 1985, pp. 209-236.
- FIGORELLI F., *Pastoralismo nomadico e innovazione economica nell'Africa saheliana*, in «Riv. Geogr. Ital.», Firenze, 1984, pp. 537-571.
- FONTAINE B., *Précipitations soudano-sahéliennes et circulation estivale sur l'Afrique occidentale et l'Atlantique nord*, in PAGNEY P., *Études de climatologie tropicale. Recherches en Géographie*, Parigi, Masson, 1986.
- GAUDIO A., *Sahel: sulle piste della fame*, Bologna, EMI, 1986.
- HOTTIN G. e OUEDRAGO F., *Notice explicative de la carte 1:1.000.000 de la République de la Haute-Volta*, Ouagadougou, IGN, 1975.
- MÉTÉO NATIONAL, *Bulletin pluviométrique*, Ouagadougou, IGN, 1984.
- MÉTÉO NATIONAL, *Bulletin météo-décadaire*, Ouagadougou, IGN, 1985.
- NEBIE O., *La situation actuelle des périmètres d'aménagement des vallées des Volta au Burkina Faso*, in «Cahiers d'Outre-Mer», Bordeaux, 1987, pp. 285-294.
- PIRZIO BIROLI D., *Il Sahel*, Firenze, Sansoni, 1986.
- PUECH J., *Méthodes et références pour la conception et l'analyse des aménagements hydro-agricoles au Burkina*, Ouagadougou, CIEH, 1984.
- RIOU C., *La détermination pratique de l'évaporation*, Parigi, ORSTOM, 1975.
- SAGATZKY J., *Notice explicative sur la feuille Tengodogo*, Ouagadougou, IGN, 1950.
- SIRVEN P., *Démographie et villes au Burkina Faso*, in «Cahiers d'Outre-Mer», Bordeaux, 1987, pp. 264-283.
- TAMS, *Étude Landsat pour la planification des zones libérées de l'onchocercose*, New York, USAID, 1980.
- TRINQUARD R., *Carte géologique 1:200.000 Tengodogo*, Ouagadougou, IGN, 1971.
- UNITED NATIONS, *Ground water in Africa*, New York, 1973.
- US NATIONAL RESEARCH COUNCIL, *Agro-forestry in the West African Sahel*, Washington, DC, National Academy Press, 1983.

SAHEL: A CONTRIBUTION FOR A BETTER WATER MANAGEMENT IN THE MIDDLE EAST AREA OF BURKINA FASO. — Water management constitutes a major problem in the Sahelian areas. The Italian assistance and FAO are presently carrying out an important development project in Burkina Faso.

Almost 150 wells have already been drilled: their yield is at present 5 cm/h (yield expected 1 cm/h).

It is important to establish whether this yield is sufficient to secure the supply of hundreds of very limited irrigation areas; one hectare for each village.

In this document the evaluation of the hydrological components of a water balance comes first: 803 mm of rains, 128 mm of effective rains, 107 mm due to the surface flow, 80 due to the water lost to the boundaries; consequently the geo-

metric and geological aspects of the reservoir are examined: $4,6 \cdot 10^4$ m²/s of transmissivity, and 2,8% of «storage». In conclusion we can dispose of a billion of cubic meters per year.

The best service we can propose is to assign, in each village, this water to the community women to allow them to manage truck gardens; in the mean time data are to be expected from well tests, observation wells and some geophysics departments in order to better understand the boundary conditions and phenomena related to the lost water.

Università di Urbino, Istituto Interfacoltà di Geografia.