

Parte II

Orientamenti di sviluppo settoriali

IX. POLITICA IDRICA E IDROGEOLOGICA

1. Le falde acquifere

1.1. *Premesse*¹

Le notizie e i dati contenuti nella descrizione che segue possono essere utilizzati in una regione determinata unicamente ai fini di studi di 'prefattibilità', non per studi di fattibilità o di esecuzione delle opere idriche che esigono sempre, nelle località prescelte, sondaggi e analisi di dettaglio già esistenti o da farsi. Di conseguenza questa sintesi, in quanto tale, deve necessariamente basarsi su un certo numero di ipotesi semplificatrici.

Le formazioni cartografate vanno dal basamento eruttivo e metaforico fino al Quaternario. In linea generale, se si prescinde dal bacino senegalo-mauritano, sono predominanti le formazioni continentali (Continente terminale e Continente intercalare).

Sono state classificate come falde 'continue' (generalizzate) quelle comprendenti formazioni sedimentarie a porosità di interstizi (sabbie, arenarie) oppure fessurate e presentanti una certa permeabilità a grande scala (dolomie, calcari, calcari carsificati, rocce molto diaclasate). Queste falde sono caratterizzate da una certa continuità nello spazio e da riserve idriche generalmente rilevanti che possono essere captate in qualsiasi punto.

Per contro sono classificate come falde 'discontinue' quelle comprendenti formazioni geologiche compatte, di conseguenza poco permeabili, ma che hanno acquistato in certi punti una permeabilità secondaria dovuta ad alterazioni fisico-chimiche, a fessurazione o a fratturazione. Si tratta di tutte le formazioni appar-

¹ BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), *Notices explicatives des cartes de planification pour l'exploitation des eaux souterraines de l'Afrique sahélienne - Productivité des nappes, coût moyen de captage et d'exploitation de l'eau souterraine, aptitude des eaux à l'irrigation*, Fonds d'Aide et de Coopération de la République Française, 1975.

tenenti al basamento eruttivo e metamorfico (graniti, scisti, gneiss, rocce eruttive), ma anche a formazioni sedimentarie quali arenarie indurite, quarziti, calcari e dolomie compatti, in qualche caso anche alluvioni. In prima approssimazione sussiste una certa relazione fra la natura della falda discontinua e l'ordine di grandezza della profondità delle opere captanti: 10-200 m nelle rocce a permeabilità da fratture, 20-50 m nelle formazioni di alterazione, 10-40 m nelle alluvioni.

Descriveremo in questa parte la carta della produttività idrica, rappresentata per zone omogenee, e l'ordine di grandezza probabile della produzione giornaliera all'inizio dello fruttamento di un'opera specifica che capta la falda; e ciò senza pregiudizio dell'evoluzione eventuale della portata nel tempo per effetto di fattori quali la rialimentazione o l'esaurimento delle riserve idriche, la densità e l'interazione delle opere nella zona in questione, o altro. La carta si basa su una estrapolazione dell'analisi delle caratteristiche riscontrate nelle opere captanti, tenendo conto del contesto idrogeologico noto e dei fattori limitativi di carattere tecnico-economico.

Nelle falde continue i fattori condizionanti la produttività sono la *permeabilità* che può variare nello spazio, e la *lunghezza della parte captante* delle opere, funzione a sua volta dello *spessore* degli strati produttivi: l'ordine di grandezza della produttività va da 100 a varie migliaia di m³/g. Invece nelle falde discontinue la produttività è legata all'intensità della fratturazione (scisti, dolomie, calcari, arenarie quarzitiche), allo spessore dell'alterazione (rocce decomponibili come graniti e granitoidi), alla natura (sabbia, ghiaia, argilla) e allo spessore delle colate alluvionali: l'ordine di grandezza della produttività è generalmente ridotto e le riserve mobilitabili sono modeste.

Il tipo di opera di captazione che si considera è la perforazione che può teoricamente convenire in tutti i casi, quale che sia la natura della falda. In pratica tuttavia la realizzazione di pozzi o pozzi perforati sarà obbligatoria quando l'attinimento dell'acqua è effettuato manualmente (nel Sahel è il caso generale), e quando la permeabilità ridotta o aleatoria della falda impone un aumento della superficie captante o la creazione di una riserva idrica (pozzo-cisterna).

La produttività iniziale si può esprimere con la formula tipo: $P_t = Q_{st} \times R_t$ nella quale P_t è la produttività teorica in m³/g, Q_{st} la portata specifica in m³/g/m di un impianto perfetto situato nella sede dell'opera considerata per 24 ore di pompaggio (pozzo o perforazione che capta tutto lo spessore della falda senza perdite di carico parassite), R_t è la riduzione di livello della falda teoricamente applicabile, espresso in m, tenendo conto dello spessore di essa e della sua natura, se libera o artesianica. Poiché tuttavia la semplice applicazione diretta di questa formula può condurre a risultati tecnico-economici assurdi per difetto di conoscenza delle caratteristiche di una falda determinata, gli autori del citato studio distinguono tre casi tipo corrispondenti a settori geografici omogenei:

a. Falde continue (generalizzate)

Caso Tipo n. 1 — Falde libere di spessore noto: $P = Q_s \times H/3$ dove Q_s è la portata specifica dell'opera considerata, H lo spessore della falda; l'abbassamento di livello ammissibile è dunque di 1/3 dello spessore dell'aquifero.

Caso Tipo n. 2 — Sistemi complessi con falde sia libere che artesiane ('captives', 'confined') di spessore sconosciuto: $P = O_s \times R_c$, dove R_c è l'abbassamento di livello ammissibile e costante per un settore dato (nel caso di falde impermeabili zampillanti la pressione al suolo è inclusa in R_c fino a che è inferiore al livello del suolo — nei casi in cui gli è superiore si considera P come uguale alla portata naturale dell'opera).

b. Falde discontinue

Caso Tipo n. 3 — Per ciascuna opera considerata si è presa la produttività come uguale alla media delle portate specifiche della zona (in genere non si è tenuto conto delle alluvioni).

Nella cartografia le falde continue sono in blu e le discontinue in arancione, l'intensità delle tinte aumentano con la produttività. Le falde profonde sono rappresentate da curve di isoproduttività di colore arancione e da un numero che figura a lato di quello della falda superiore. Segue la descrizione delle falde del Sahel con le rispettive carte. I numeri indicati tra parentesi accanto a ciascuna falda corrispondono a quelli delle cartine di reperimento.

1.2. Senegal, Mauritania, Mali occidentale (17°W-5°W, Fig. 1)

1.2.1. FALDE CONTINUE

- a. *Alluvioni del fiume Senegal* - (1) - Caso Tipo n. 2 con abbassamento di livello ammissibile di m 5. - Localmente molto permeabili possono dare fino a 30 m³/h con m 2 di abbassamento; a valle di Boghé però la falda è salata e non utilizzabile.
- b. *Sabbie dunari* - (2) - Caso Tipo n. 2 con abbassamento di livello ammissibile di m 5. - A N di Dakar sulla costa atlantica le sabbie dunari sono interessanti: la produttività varia con la morfologia del substrato quasi impermeabile (argille e marne dell'Eocene). In Mauritania, nell'Aouker e nel Cheggat, le sabbie dunari possono raggiungere uno spessore di 80-100 m e riposano sulle peliti del Hodh che sono impermeabili; i rilievi sotterranei di questo substrato impermeabile determinano localmente le zone sterili (vedasi settore 9b a 17°,30'N-10°W). Malgrado la buona permeabilità delle sabbie le portate sono generalmente ridotte a causa della insufficiente penetrazione delle opere, ma potrebbero essere molto migliorate con un lavoro più diligente.
- c. *Continente terminale* - (3) - Caso Tipo n. 1. Il Continente terminale è costituito da sabbie o arenarie argillose, eterogenee, di uno spessore che va da qualche decina di m a 100-200 m, le quali ricoprono i 4/5 del bacino senegalo-mauritano. Come prima approssimazione la falda può considerarsi libera; è sfruttata principalmente con pozzi che ne captano solo la parte freatica, mal costruiti e quindi poco produttivi. Le portate specifiche osservate sono molto variabili: in linea di massima 180 m³/g/m nel bacino senegalese, 30 m³/g/m nella parte S del bacino mauritano.

- d. *Formazioni dell'Eocene* - (4, 6b) - Caso Tipo n. 2 con abbassamento di livello ammissibile di m 10. Sotto la copertura del Continentale terminale i calcari e le dolomie carsificate del Luteziano del bordo NW del bacino senegalese e della parte S del bacino mauritano racchiudono falde continue. Le portate sono variabili e possono raggiungere 100 m³/h (la cartografia è limitata alla zona senegalese dove queste facies formano il primo acquifero sfruttabile - 4a).
- e. *Calcari del Paleocene* - (5) - Caso Tipo n. 2 con abbassamento di livello ammissibile di m 10. - Affiorano nella penisola del Capo Verde, segnati da una

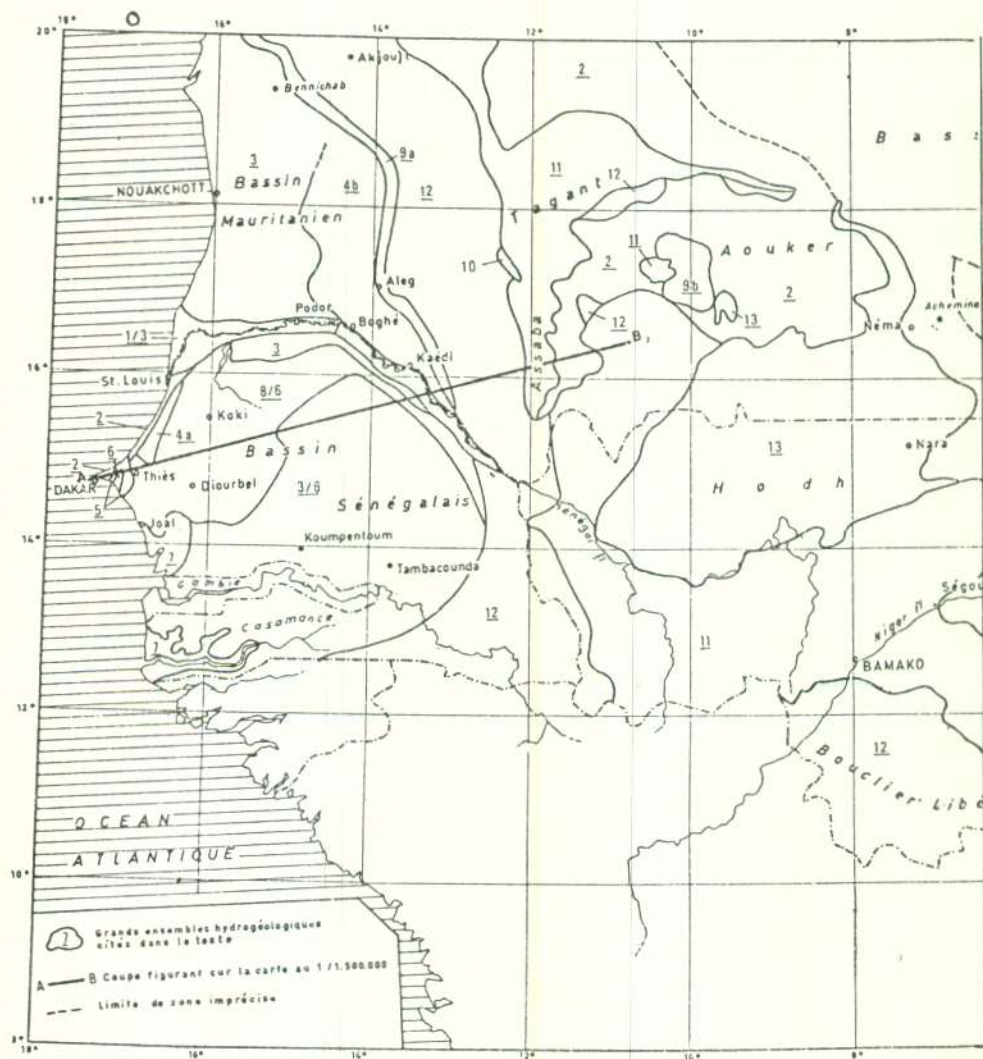


Fig. 1. Foglio Ovest (cartina di riferimento BRGM). (Vedi Appendice tavv. XIII-XIV).

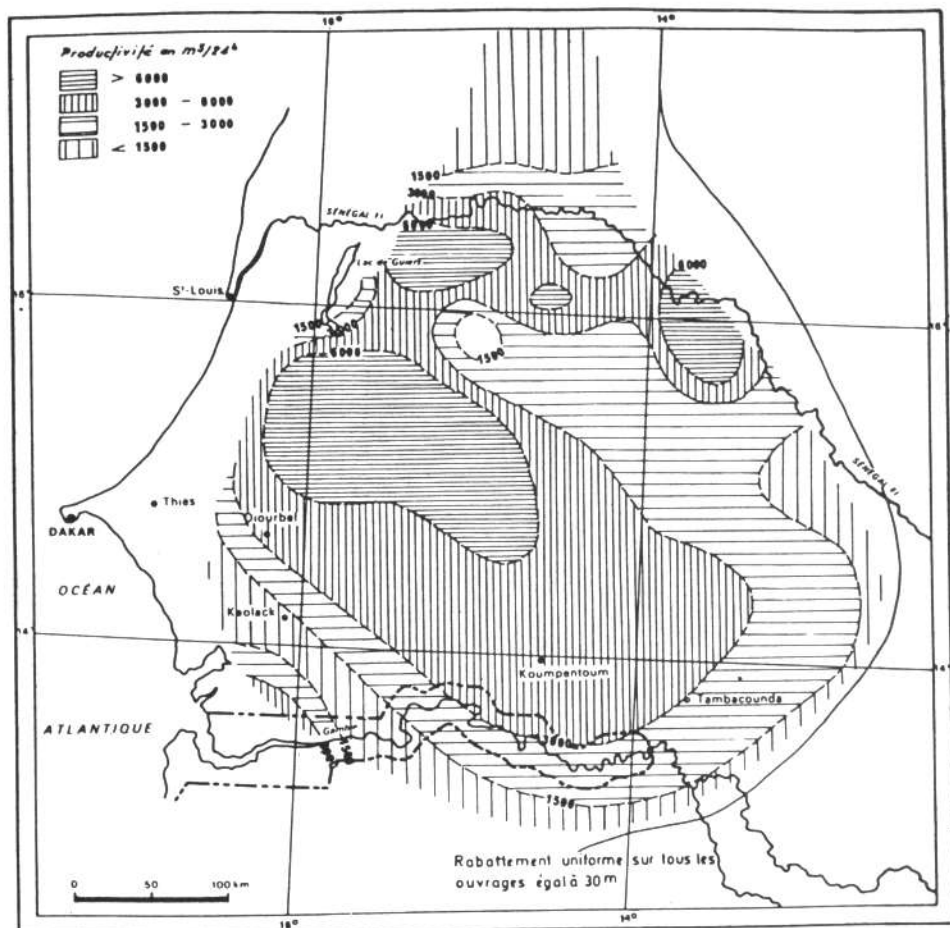


Fig. 4. Bacino del Senegal. Produttività della falda delle sabbie del Maestrichtiano in $m^3/24 h$.

le piene del Niger hanno una funzione importante nell'alimentazione di queste falde.

1.2.2. FALDE DISCONTINUE (sono tutte del Caso Tipo n. 3)

- a. *Basamento cristallino e di filladi cristalline* - (12). - Esso forma una lunga banda orientata N-S sul versante E del bacino sedimentario senegalo-mauritano che poi continua a S fino alla piattaforma liberio-avoriana. La conclusione cui si è giunti (R. Biscaldi, 1967) è che in zone scistose si possono ottenere portate superiori a quelle delle arenarie (uniche formazioni sfruttabili nelle zone granitiche), ma a condizione di utilizzare le aree di fessurazione situate nelle argille di alterazione.

- b. *Peliti dei Hodh* - (13). - Queste rocce sono permeabili nei primi 15-20 m grazie a una rete di diaclasi e fessure, a volte assai densa, che sovente si accentua lungo le linee dei diastrofismi tettonici. Le portate nei vari punti possono allora arrivare ai 3 m³/h, ma si risolvono spesso in uno sfruttamento eccessivo delle risorse idriche. Filoni di dolerite e massicci di diorite intersecano le peliti ed esercitano probabilmente una funzione di drenaggio nei riguardi delle formazioni di alterazioni argillose; le portate medie sono allora solo dell'ordine di 0,5 m³/h o 10-12 m³/g.
- c. *Arenarie infracambriane e primarie* - (11). - Sono arenarie più o meno cementate o argillose che formano vasti pianori a E e a N del basamento cristallino; presentano facies assai varie, silicizzate, argillose, calcaree con in certi punti intercalazioni di argille, calcari e dolomie. Le risorse tradizionalmente sfruttate sono contenute nelle frange di alterazione superficiale e nelle alluvioni. Ma esistono anche falde artesiane poco conosciute e apparentemente legate ai sistemi di fratture e/o a certe facies con permeabilità originaria o acquisita non trascurabile. Per esempio nell'Assaba e nel Tagant falde in sistemi localizzati all'interno di strutture favorevoli producono sorgenti perenni di una portata di 25-100 m³/g o anche superiore.
- d. *Dolomie infracambriane o primarie* - (10). - Ai piedi del massiccio dell'Assaba e nella valle del Djouk, che lo divide da quello del Tagant, vi sono dolomie carsificate che sono sede di una circolazione idrica: si sono ottenute portate di 20-50 m³/h.
- e. *Calcari marnosi dell'Eocene* - (8). - I calcari carsici del Luteziano del Senegal (4a) passano lateralmente verso E e N a marne e argille contenenti sporadiche lenti calcaree che hanno portate ridotte e molto localizzate.
- f. *Zone sterili*. In 9a: bisello secco dovuto alla risalita del basamento (12) al disopra del livello delle falde, al limite dei settori 3 e 4b, sul bordo NE del bacino senegalo-mauritano. In 9b: l'altofondo delle peliti del Hodh sotto le sabbie dell'Aouker. In 9c: bisello secco dovuto alla risalita delle peliti sterili dei Hodh (13) al disopra del livello delle falde nelle formazioni continentali del settore (15). Vi è solo una falda molto localizzata ad Achemin (a E di Nema) dove una buona alimentazione superficiale è in comunicazione con una camera interna del substrato.

1.3. *Mali centro-orientale, Niger occidentale* (5°W-9°E, Figg. 5 e 6)

1.3.1. FALDE CONTINUE

- a. *Formazioni continentali di età variabile* - (15) - Caso Tipo n. 2 con abbassamento di livello ammissibile di m 10. - I dati sono altrettanto imprecisi e rari come nell'analogo settore precedente (1.2.1./g). A S, nella regione di Mopti,

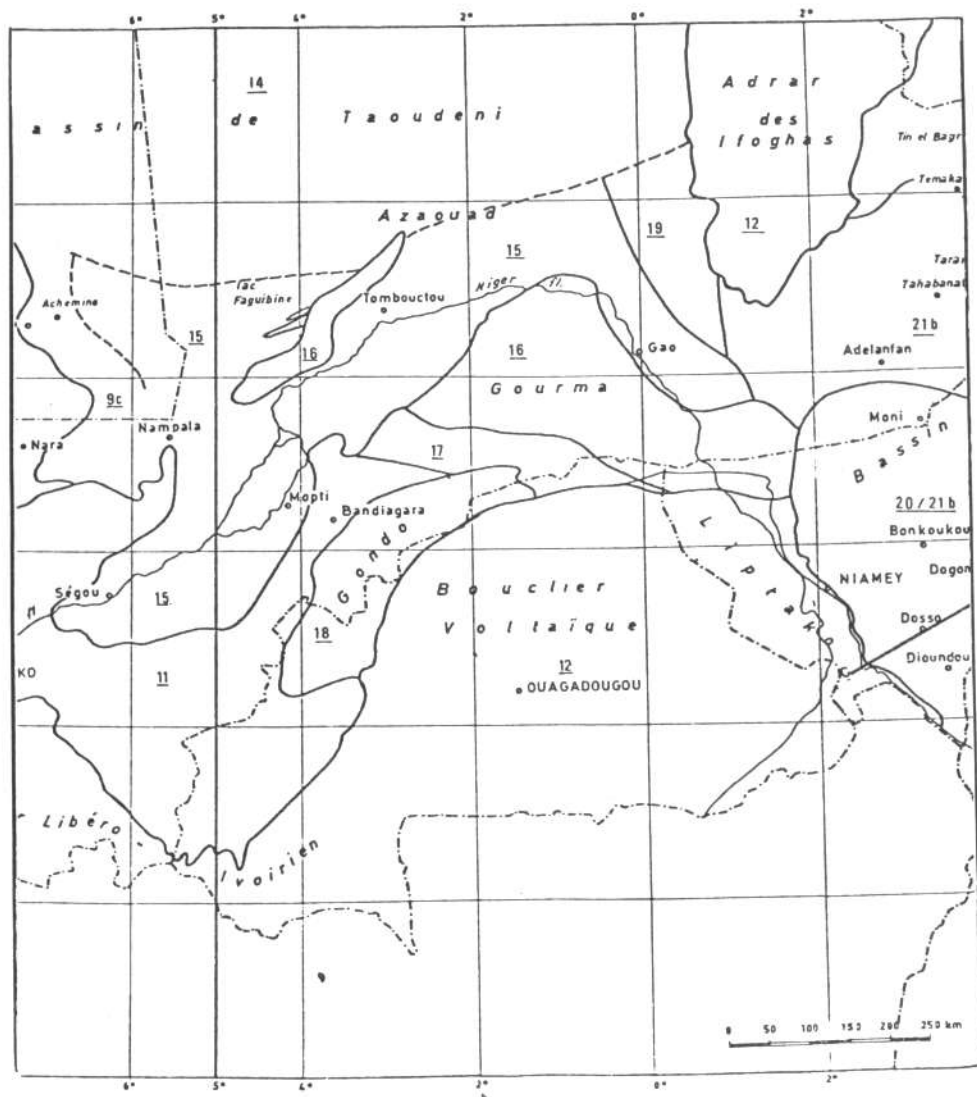


Fig. 5. Foglio centrale, parte Ovest (cartina di riferimento BRGM). (Vedi Appendice tav. XV).

le alluvioni del Niger esercitano una funzione interessante e possono fornire portate dell'ordine di $15 \text{ m}^3/\text{h}$ o $360 \text{ m}^3/\text{g}$. Nello 'stretto sudanese' le arenarie argillose del Continentale terminale sembrano acquifere ma i dati disponibili non sono sufficienti.

b. *Pianura di Gondo* - (18) - Caso Tipo n. 3 con abbassamento di livello ammissibile di m 5. - Si tratta di una zona di sprofondamento riempita di arenarie

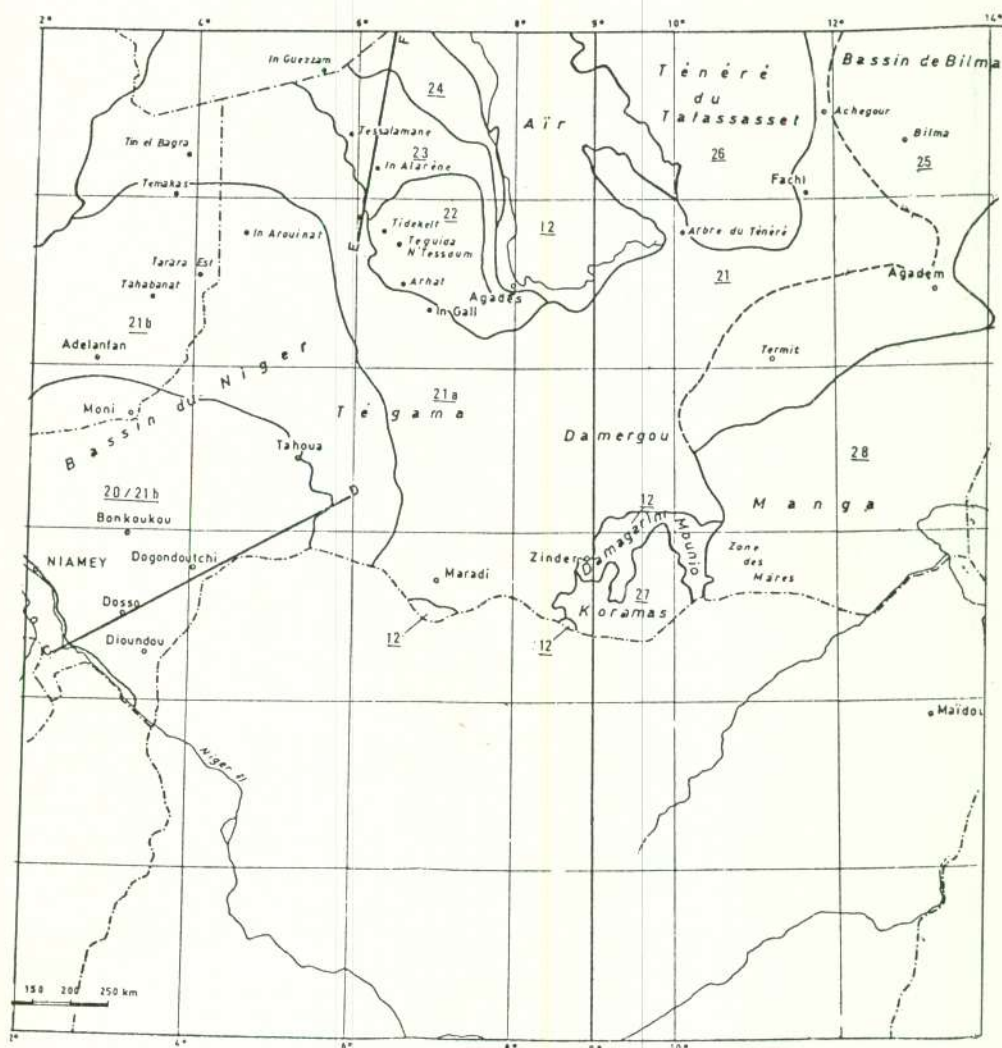


Fig. 6. Foglio centrale, parte Est (cartina di riferimento BRGM). (Vedi Appendice tav. XVI).

argillose del Continentale terminale. Verso NE la falda contenuta nelle arenarie passa lateralmente e senza alcuna soluzione di continuità nelle « Dolomie di Irma » (17) sottogiacenti e localmente carsificate dove diviene discontinua.

- c. *Continentrale terminale* - (20) - Caso Tipo n. 1. - È l'insieme costituito dalle arenarie argillose e dalle argille che ricopre la parte S dello 'stretto sudanese' e il bacino del Niger, nel quale ultimo le variazioni litologiche risultano essere la regola sul piano sia verticale che orizzontale. Le formazioni superiori del Continentrale terminale contengono diverse falde libere. Al disotto di esse esistono almeno due falde alimentate in collegamento idraulico con quelle superiori. Le portate constatate sono eccellenti: 250-3000 m³/g per la falda mediana, 150-1200 m³/g per quella inferiore con un abbassamento di livello ammissibile di m 10.
- d. *Arenarie del Tegama* - (21a e 21b) - Caso Tipo n. 2 con abbassamento di livello ammissibile di m 10. - È un'importante serie continentale (Continentrale intercalare e Continentrale hamadiano), dello spessore di 500-700 m, composta di arenarie, arenarie argillose, sabbie e argille. La serie affiora nel Sahara ed è ricoperta (21b) da un tetto argilloso impermeabile (Cretaceo, Paleocene) per cui si alimenta da N; lo spessore del tetto può arrivare a 600 m; il comportamento idraulico di questa parte artesianà della falda nelle adiacenze del massiccio dell'Air non è ancora stato chiarito.

La parte cretacea del tetto impermeabile passa lateralmente, verso il fiume Niger, al Continentrale hamadiano la cui litologia è identica a quella del Continentrale intercalare: queste due facies continentali costituiscono un unico complesso idraulico. Nelle adiacenze del fiume Niger la parte superiore di questo insieme è formata da 50-150 m di sabbie e arenarie grossolane molto permeabili che si estendono a N fino in prossimità dei 16°N; le portate specifiche constatate sono le più alte della carta perché possono valutarsi in decine di m³/h per ogni m di abbassamento di livello.

Per contro la parte restante di questo insieme non fornisce che portate specifiche di qualche m³/h per m di abbassamento di livello, portate prodotte da intercalazioni sabbiose in una serie a dominante arenaceo-argillosa, con pressioni che in tutti i livelli sabbiosi sono praticamente le stesse; tali orizzonti sono difficilmente individuabili, per cui conviene preferire opere con tubo captante di notevole lunghezza, 100-200 m o più. Le arenarie del Tegama presentano una permeabilità minima in prossimità dei massicci di scisti cristallini della frontiera nigeriana e particolarmente presso Maradi. Tuttavia in quest'ultima regione esistono, separate dal Tegama da una superficie di erosione, alluvioni quaternarie antiche che quando si incontrano sotto il piano piezometrico consentono portate specifiche superiori a 10-12 m³/h/m. È una regione nella quale la distribuzione delle portate è troppo erratica perché si possa delineare una zona di produttività idrica, per cui si è preferito adottare una stima differenziale corrispondente ai valori più frequenti. Per la parte artesianà del sistema i valori ottenuti con un abbassamento ammissibile di livello uguale a 1/4 del carico idrico al disopra del tetto della falda sono compresi fra 2000 e 5000 m³/g (Fig. 7). Si è comunque adottata un'ipotesi più pessimistica rappresentata nella carta con curve di isoproduttività arancione a scala ridotta; l'abbassamento di livello ammissibile è stato considerato come uniforme e uguale a m 100 su tutte

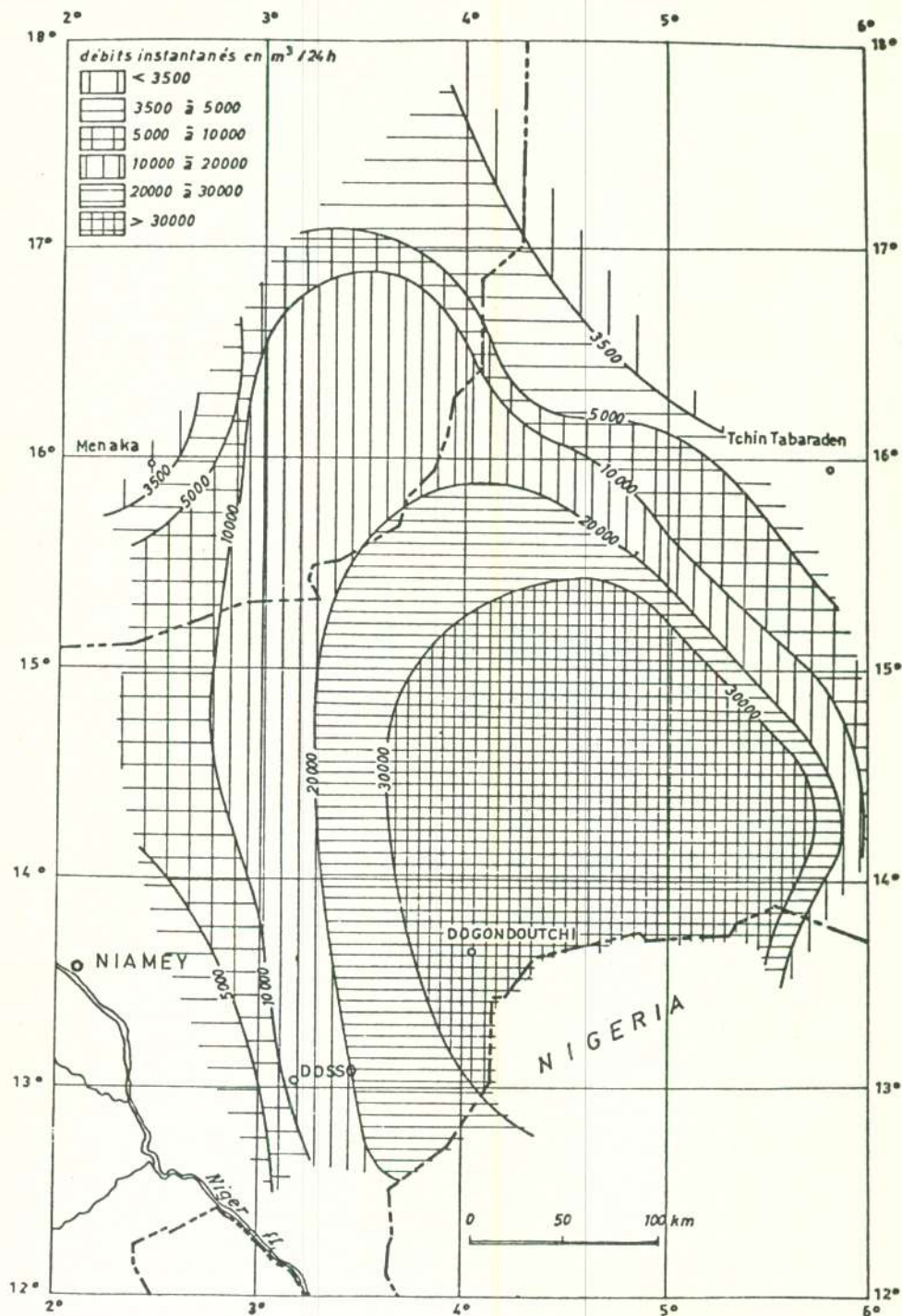


Fig. 7. Falda del Continentale intercalare. Facies Tegama. Cartina delle portate istantanee con abbassamenti di livello uguali a $1/4$ del carico idrico al disopra del tetto della falda (BRGM).

le opere; in questo caso i valori più produttivi sono compresi fra 500 e oltre 3500 m³/g (Fig. 8).

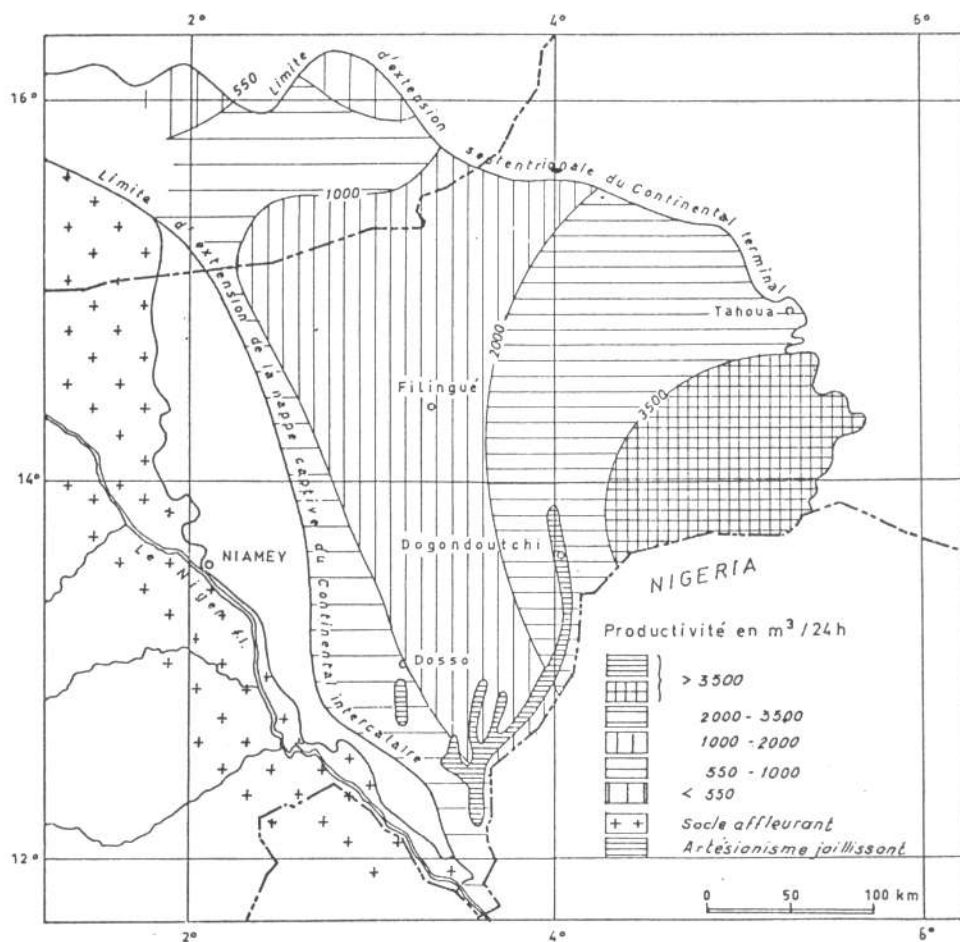


Fig. 8. Bacino del Niger. Produttività della falda artesiana delle arenarie del Continentale intercalare (Tegama) con abbassamenti di livello uniformi di m 10 su tutte le opere (BRGM).

1.3.2. FALDE DISCONTINUE (sono tutte del Caso Tipo n. 3)

- a. *Arenarie infracambriane e primarie* - (11). - Formano l'estremità E della lunga fascia di arenarie che circonda il basamento cristallino a S della sinclinale di Taoudenni e che va dalla Mauritania a NW fino al Burkina Fasso a E; i caratteri complessivi di queste arenarie sono abbastanza omogenei. Le falde in esse

contenute (se si escludono quelle di alterazione superficiale) possono essere captate mediante perforazioni ma con portate limitate (vedasi a Bandiagara in Mali, circa $1 \text{ m}^3/\text{h}$) e possono anche alimentare sorgenti di portate talora considerevoli (vedasi la sorgente di Kou che alimenta Bobo-Dioulasso, circa $2500 \text{ m}^3/\text{g}$) oppure corsi d'acqua perenni quali il Volta Nero. Queste falde comunque sono altrettanto poco conosciute come quelle situate più a W (1.2.2./c).

- b. *Basamento cristallino e scisto-cristallino* - (12). - È principalmente rappresentato dallo scudo voltaico a S, dall'Adrar degli Iforas a N, dall'Air a E (come pure da certi rilievi quali il horst dell'Assamaka nella zona di In Guezzam nel Sahara ai $5^\circ, 40'E-19^\circ N$) e a S dai massicci di Maradi e Zinder che appartengono allo scudo nigeriano. Mancano dati per l'Adrar degli Iforas e per l'Air; in quest'ultima regione si sfruttano solo le falde alluvionali delle vallate ($120 \text{ m}^3/\text{g}$). Nello scudo voltaico le portate medie sono di $25-50 \text{ m}^3/\text{g}$ (eccezionalmente di 100); le zone di migliore produttività ($50-75 \text{ m}^3/\text{g}$) corrispondono a formazioni vulcanico-sedimentarie metamorfosate del Precambriano medio e superiore nel quale dominano gli scisti; l'ottenimento di queste portate tuttavia è strettamente condizionato dall'esistenza di una zona fessurata sotto la zona di alterazione argillosa, caso abbastanza raro.
- c. *Gourma e zona a NW di Tombuctù* - (16). - La parte essenziale della serie, rappresentata da rocce metamorfiche affioranti dall'una e dall'altra parte del Niger, è poco produttiva e spesso sterile; solo la trivellazione di Latan dà più di $1 \text{ m}^3/\text{h}$. Alla sommità della formazione tuttavia i piani dolomitici carsificati possono in certi punti dare portate fino a un massimo di $11 \text{ m}^3/\text{h}$.
- d. *Dolomie di Irma* - (17). - Quasi sempre ricoperte dal Continentale terminale o da sabbie subattuali, sono conosciute sul bordo N del basamento, associate ad arenarie e scisti; a N passano in continuità stratigrafica sotto gli scisti della serie del Gourma (16); la rete carsica legata alla loro fratturazione è sede di circolazioni idriche collegate al Continentale terminale della pianura di Gondo (18). Le portate note sono dell'ordine di qualche m^3/h , ma vi è il caso assolutamente eccezionale della perforazione 'Christine' nell'Oudalan che dà $100 \text{ m}^3/\text{h}$ con un abbassamento di livello della falda quasi nullo. Più a E le dolomie passano a calcari che sono parimenti acquiferi.

1.4. *Niger orientale, Ciad* ($9^\circ E-22^\circ E$ - Fig. 9).

1.4.1. *FALDE CONTINUE*

- a. *Arenarie del Tegama* - (21) - Caso Tipo n. 2 con abbassamento di livello ammissibile di m 10. - Esse sono la continuazione del sistema precedente (1.3.1./d) ed hanno approssimativamente le stesse caratteristiche. Nell'insieme la falda è libera. A E e NE le arenarie del Tegama passano sotto a serie arenacee del Cretaceo.
- b. *Serie sovrapposta alle arenarie del Tegama* - (25) - Caso Tipo n. 2 con abbassamento ammissibile di livello di m 10. - In tutta la regione del massiccio di Termit e di Agadem e del bacino di Bilma considerazioni geologiche, struttu-

rali e idrochimiche permettono di affermare che le spesse serie arenacee del Cretaceo superiore formano serbatoi potenziali collegati con le falde alluvionali

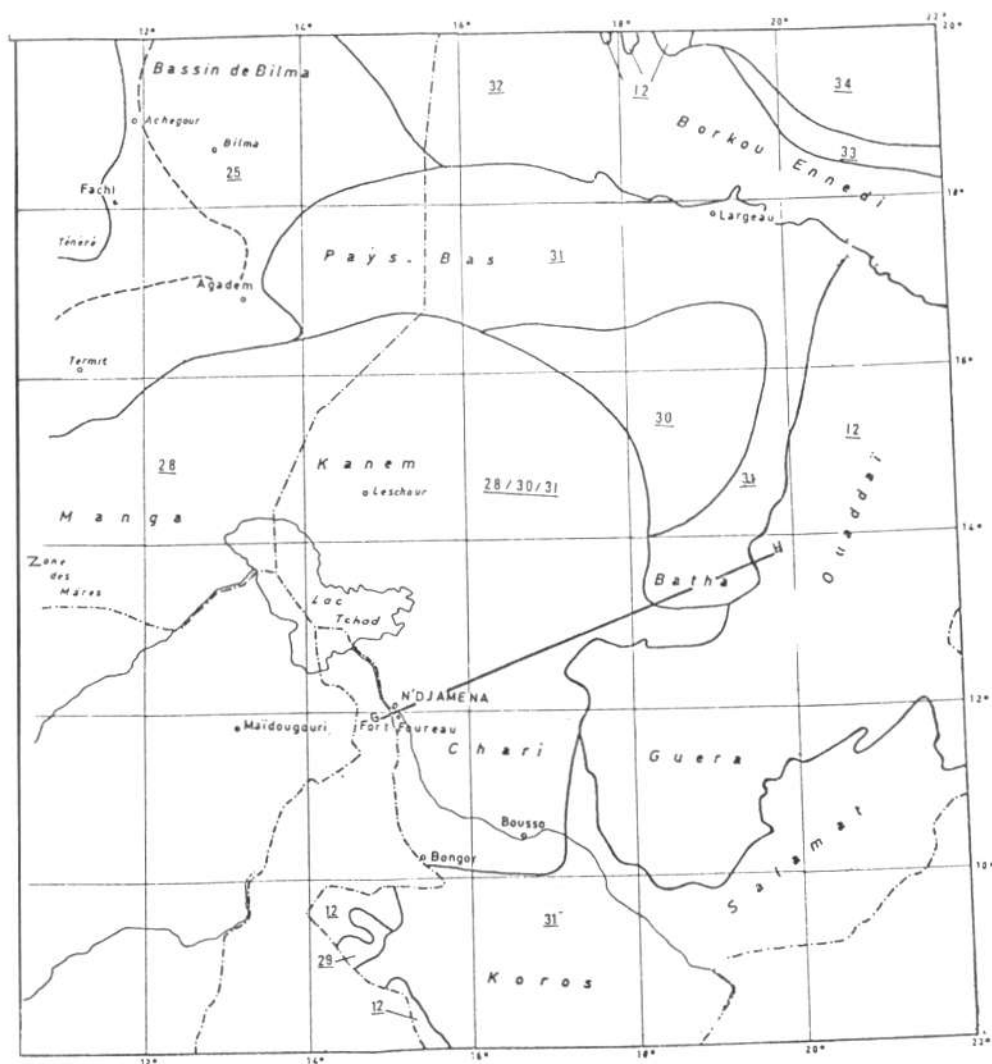


Fig. 9. Foglio Est (cartina di riferimento BRGM). (Vedi Appendice tavv. XVII-XVIII).

sfruttate ai piedi delle falesie. Circa le sorgenti artesiane di Bilma nel Sahara, la cui origine è discussa (serie arenacea del Cretaceo superiore o arenarie di Achegour del Continentale intercalare), la loro portata totale è stata molto approssimativamente valutata in $1200 \text{ m}^3/\text{g}$ (F. Pirard, 1964). A S il Continentale terminale dei massicci di Termit e Agadem, che prosegue nel Manga (a

W del lago Ciad), costituisce un secondo serbatoio potenziale riconosciuto acquifero in Ciad, Camerun e Nigeria (sondaggio di Fort-Fureau in Camerun 1000 m³/g per m 10 di abbassamento di livello; sondaggio di Maiduguri in Nigeria, 400 m³/g per m 5 di abbassamento di livello).

- c. *Bacino di Koramas* - (27) - Caso Tipo n. 2 con abbassamento ammissibile di livello di m 1. - È una regione apparentemente ricca di riserve idriche la cui geologia e idrogeologia sono però poco conosciute. A S del massiccio di Zinder e fino a 20-30 km dalla frontiera nigeriana si estende una falda talora affiorante la cui superficie presenta notevoli fluttuazioni legate alle precipitazioni; verso la frontiera sembra essere drenata in direzione delle formazioni del Ciad e del Continentale terminale; le portate specifiche variano da 1 a 8 m³/h/m. Più a S, indipendentemente dalle portate medie di 50-280 m³/h/m indicate nella carta, va segnalato che un sondaggio a Magaria avrebbe dato 1700 m³/g e che in prossimità della frontiera nigeriana le portate sarebbero dell'ordine di 350 m³/g.
- d. *Plio-Quaternario* - (28) - Caso Tipo n. 2 con abbassamento di livello ammissibile di m 5. - La falda del Ciad centrale è formata da una serie fluvio-lacustre e da dune; il suo carattere è molto eterogeneo; le portate sembrano migliorare verso il NE del Kanem, ma la scarsità di dati non consente ulteriori precisazioni. A W del lago Ciad, nella regione del Manga, la cartografia corrisponde ai primi 50 m di profondità che contengono strati di sabbie fini e di argilla separanti altrettante falde aventi ciascuna la loro pressione propria; le portate specifiche sono dell'ordine di 1-2,5 m³/h/m. Al disotto di questo sistema idraulico esiste una seconda falda, nota come 'falda mediana' che è artesiane e zampilla intorno al lago; le produttività teoriche (rappresentate a scala ridotta nella carta) sono superiori a quelle a S del lago, ma una maggiore diligenza nella costruzione delle opere certamente dovrebbe produrre anche a N le medesime portate riscontrabili a S.
- e. *Pliocene inferiore* - (30). - Nella zona dove affiorano, queste formazioni sabbio-argillose sono poco produttive, e i valori riportati sulla carta per questo settore corrispondono a quelli del Continentale terminale sottostante (31) a S, e a quelli del Plio-Quaternario a N (Bahr-el-Ghazal). Per contro se si va verso W queste formazioni sormontate dal Plio-Quaternario mostrano una produttività migliore, specie sul fondo dei canali; esse corrispondono alla falda mediana del Manga (1.4.1./d); le produttività di questa falda sono rappresentate sulla carta a scala ridotta con un abbassamento di livello di m 5.
- f. *Continentale terminale* - (31) - Caso Tipo n. 2 con abbassamento di livello ammissibile di m 5. - Le produttività sono assai variabili a causa del carattere eterogeneo delle sabbie e argille della falda. Sembra che la scarsa produttività generale, particolarmente evidente nell'area pedemontana, migliori verso il centro della depressione tettonica dove la serie si ispessisce; i valori possono allora raggiungere i 50-250 m³/g. Sul bordo occidentale del Ouaddai il Continentale terminale si abbassa progressivamente verso W sotto il Pliocene inferiore (30) e il Plio-Quaternario (28); le portate sembrano aumentare nello

stesso senso, ma di preferenza sul fondo dei canali dove vi è una migliore permeabilità: è questa falda, l'unica veramente perenne, che è rappresentata sulla carta (30), là dove il Plio-Quaternario affiorante, poco permeabile, non è praticamente sfruttato. Sotto la zona prossima al lago Ciad (28) certe informazioni sulla falda indicherebbero una produttività abbastanza buona dall'una e dall'altra parte della dorsale NW-SE che passa per il lago.

1.4.2. FALDE DISCONTINUE (Caso Tipo n. 3)

- a. *Basamento cristallino e scisto-cristallino* - (12). - È rappresentato sulla carta dai massicci di Zinder a SW, dall'estremo N della dorsale camerunese a S, dai massicci del Ouaddai a E. Le falde dei massicci scisto-cristallini di Zinder sono contenute nelle coperture recenti, eoliche e alluvionali: i pozzi buoni in quest'area danno portate dell'ordine di 150 m³/g. La parte pedemontana dei massicci del Ouaddai e del Guéra è costituita da formazioni sedimentarie che contengono solo falde locali riposanti sia sul basamento, sia su piani argillosi, ciò in quanto la profondità del basamento non è sufficiente a consentire la formazione di una falda freatica generale: le produttività sono molto basse e la falda non è rialimentata che episodicamente. A S della regione del Ouaddai infine, dei lembi di arenarie primarie, relitto di una antica copertura, possono formare, data la loro struttura di sprofondamento, serbatoi sfruttabili, come del resto è il caso anche più a E, nel Sudan.

1.5. Sudan, Etiopia (22°E-39°E - Figg. 10a-10b)²

1.5.1. FALDE CONTINUE

- a. *Depositi alluvionali e continentali*. Comprendono le alluvioni del Nilo Bianco e i suoi affluenti (Bahr-el-Arab, Nilo Azzurro, Baro, Ar-Rahad, Atbara) e defluenti (Bahr-el-Ghazal), alluvioni che presentano una litologia molto eterogenea con sabbie e ghiaie intercalate da numerosi piani argillosi per uno spessore che può arrivare a 100 m. Si hanno quindi serie di falde locali compartimentate in funzione della litologia e della topografia, talora sovrapposte, sempre sfruttabili a profondità inferiori ai m 30. Le portate medie specifiche sono comprese fra 1 e 10 m³/h. Nel delta interno del Nilo a S di Khartoum vi è una falda libera continua il cui livello piezometrico è a meno di m 50 di profondità. Caratteristiche analoghe hanno le alluvioni fluvio-lacustri del Wadi-el-Ku che proviene dal Jebel Gurgei nel massiccio del Darfur, come pure le falde contenute in formazioni dunari continentali là dove il loro spessore supera i m 50: ve ne sono in qualche punto nel Kordofan.
- b. *Formazioni sedimentarie continentali omogenee*. Ci sono anzitutto le Arenarie di Nubia la cui falda è sfruttabile in tutto il NW del Sudan, ma anche localmente nel Darfur settentrionale e nel Kordofan centro-occidentale (con esclu-

² Per il Sudan e l'Etiopia ci riferiamo ai dati forniti dallo studio del BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) *Hydraulique villageoise dans les Etats d'Afrique associés à la CEE*, 1977; ciò in quanto il precedente più ampio studio riguarda il Sahel solo fino al Ciad.

c₁

Ricoprimenti superficiali

- Dune costiere
- Dune continentali
- Formazioni fluviolacustri
- Alluvioni antiche e recenti

c₂

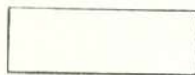
Formazioni sedimentarie, continentali o marine, omogenee

- Sabbie
- Sabbie argillose
- Calcari carsici
- Calcari marnosi
- Marne

c₃

- Formazioni sedimentarie continentali o marine
- Litologia spesso molto varia
- Localmente a pieghe e scarsamente coinvolte in fenomeni vulcanici

- Calcari
- Arenarie. Sabbie da arenaria
- Scisti cristallini. Scisti. Peliti. Argille. Marne



Zone sterili (confini di bacini sedimentari) o delle risorse non ancora conosciute.

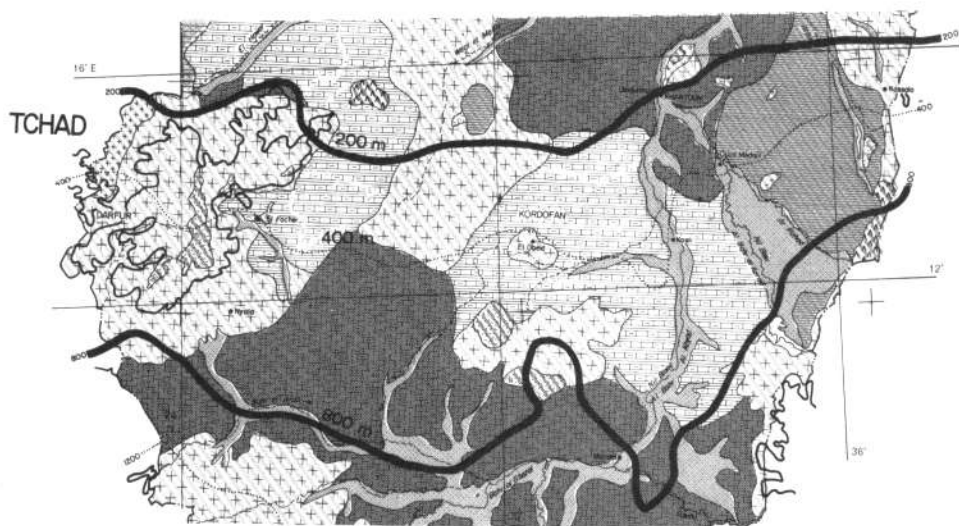
d₁₀

- Complesso di base •
- Precambriano •
- Precambriano inferiore o medio •
- Precambriano indifferenziato •

d₁₀*

- a = graniti
gneiss
- b = rocce metamorfiche *
indifferenziate
- scisti
 - quarziti
 - filladi
 - leptiniti e gneiss









Legenda acquiferi continui.



c_1	c_2	c_3	d_1	d_2	d_3	d_4
<ul style="list-style-type: none"> - Alluvioni del Nilo - Depositi alluvionali del Bahr e Azrad - Dune del Kordofan e della regione nord-occidentale - Depositi alluvionali del Bahr el Gazal e del Bahr el Arab 	<ul style="list-style-type: none"> - Sacche di arenarie di Nubia a nord-ovest (Dongala, Kordofan) - Sacca delle formazioni di Um Rubawa al Bahr el Gihazal 	<ul style="list-style-type: none"> - Sabbie e calcari del quaternario e del neogene sulla costa orientale 	<ul style="list-style-type: none"> - Graniti e pegmatiti nel Darfur, Kordofan alla frontiera sud e nella regione nord-orientale 	<ul style="list-style-type: none"> - Rocce vulcaniche effusive del lago Rodolfo 	<ul style="list-style-type: none"> - Rocce vulcaniche acide effusive della regione nord-orientale 	<ul style="list-style-type: none"> - Grès dell'En-nadi - Rocce scistose arenarie metamorfiche a nord del Bahr el Azrad

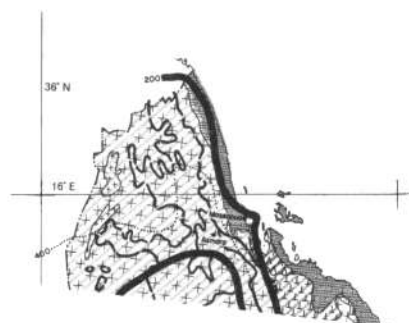
Fig. 10a. Carta idrogeologica del Sabel del Sudan. Hydraulique Villageoise dans les Etats d'Afrique Associés à la C.E.E., BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières).

sione della fascia più settentrionale); il livello di equilibrio si stabilisce (eccetto che ai bordi degli affioramenti) intorno ai m 100 sotto la superficie del suolo e la falda è leggermente in carico; le portate sono generalmente superiori a $100 \text{ m}^3/\text{h}$; nel Kordofan i pozzi recenti hanno profondità variabili fra i 50 e i 500 m. Vi sono poi le formazioni di Umm-Rubawa che hanno spessore e litologia molto diversi; tale variabilità si ripercuote sulle falde il cui livello di equilibrio è in genere a oltre 50 m di profondità, eccetto che nella zona di Jazirah a S di Khartoum, l'unica nella quale queste risorse siano regolarmente sfruttate. In linea generale si possono avere sabbie, sabbie argillose, arenarie poco consolidate, calcari carsici, calcari marnosi, marne: si tratta di falde continue alla scala del bacino sedimentario corrispondente, con possibilità di diversi sistemi acquiferi sovrapposti per spessori cumulati superiori a 100 m, con falda freatica superiore avente il livello di equilibrio medio raramente a profondità maggiori dei 50 m.

	DENOMINAZIONE	ASPETTO
 d _{1c}  d _{1b} *	<ul style="list-style-type: none"> • Complesso di base • • Precambriano • • Precambriano inferiore o medio • • Precambriano indifferenziato • 	a = graniti gneiss b = rocce metamorfiche * indifferenziate — scisti — quarziti — filladi — leptiniti e gneiss
 d ₂	Rocce vulcaniche basiche	— basalti — doleriti
 d ₃	Rocce vulcaniche acide	— Rioliti — Trachiti
 d _{4c}  d _{4b}  d _{4c}  d _{4d}	Rocce sedimentarie localmente lievemente metamorfizzate sottoposte a movimenti tettonici intruse da rocce vulcaniche	a: prevalenza scisti b: prevalenza arenarie e quarziti c: prevalenza aspetti carbonatici d: prevalenza aspetti argillosi

* Quando la litologia può essere precisata l'indicazione impiegata è descritta in d₄.

Legenda acquiferi discontinui.



c_1	d_1	d_2	d_3
<ul style="list-style-type: none"> - Sacche (molte sovrapposte) delle serie giurassiche e cretache dell'altopiano dell'Ogaden - Formazioni quaternarie e calcari paleogenetici del Mar Rosso 	Formazioni granitiche e gneissiche dell'Eritrea settentrionale	Effusioni vulcaniche (zone montagnose)	Sacche ipotetiche delle formazioni giurassiche e cretache a pieghe nelle valli del Nilo Blu e dello Scheebeli

Fig. 10b. Carta idrogeologica del Sahel dell'Eritrea (Etiopia). Hydraulique Villageoise dans les Etats d'Afrique associés à la C.E.E., BRGM.

- c. *Formazioni sedimentarie continentali non omogenee.* Nelle regioni saheliene abbiamo le formazioni calcaree e arenacee del Quaternario e del Mio-Pliocene della costa del Mar Rosso (Eritrea); quando lo spessore è sufficiente queste contengono falde localizzate nelle zone fratturate, ma l'acqua è scadente a causa delle infiltrazioni saline e/o dei depositi di gesso, per cui in pratica le uniche acque utilizzabili sono quelle delle alluvioni provenienti dai massicci eritrei scavate nel basamento. Ci sono poi le analoghe formazioni continentali delle arenarie di Nubia e di Umm-Rubawa che figurano nel Darfur (a W di El-Fasher), nel Kordofan centrale e nella zona fra i due Nili; si presentano sotto forma di depositi lenticolari al disopra del basamento, e le relative falde locali sono generalmente sfruttabili a poca profondità (m 50 o meno).

1.5.2. FALDE DISCONTINUE

- a. *Formazioni precambriane.* Sono le formazioni del Precambriano medio e inferiore e del Precambriano indifferenziato qui raggruppate sotto il termine di 'complesso di base', perché non si sono potute fare distinzioni litologiche: nel complesso infatti si possono solo distinguere due facies, l'una a prevalenza di gneiss e graniti (N del Darfur sulla frontiera del Ciad, 2 aree limitate nella regione di Kassala), l'altra caratterizzata principalmente da rocce metamorfiche indifferenziate comprendenti scisti, quarziti, filladi e leptiniti (praticamente tutto il Darfur, il Kordofan centrale, la zona di El-Obeid, il massiccio del Nuba,

la parte orientale della provincia di Kassala adiacente alla frontiera etiopica, tutta l'Eritrea ad eccezione della fascia costiera del Mar Rosso). Queste formazioni sono ancora solo eccezionalmente sfruttate con le tecniche moderne di ricerca e di costruzione delle opere che si impongono; fanno eccezione il Darfur e il Kordofan dove la presenza di coperture superficiali come dune, alluvioni e arenarie di Nubia possono consentire una concentrazione più importante di risorse idriche in relazione con la fratturazione e l'alterazione del basamento. In linea generale il 'complesso di base' precambriano presenta alterazioni superficiali comprese fra i 5 e i 30 m nelle zone di faglia, fratturazioni trascurabili oltre i 60 m di profondità, alterazioni e fratturazioni ancora minori nelle zone metamorfiche. In conclusione: nelle zone alterate vi sono risorse perenni alla base delle formazioni in contatto col granito sano, e risorse generalmente non perenni nella parte superiore della zona alterata; invece nelle zone non alterate si hanno risorse limitate nei punti di faglia. Impiegando tecniche di ricerca e di costruzione moderne queste risorse possono essere tutte sfruttate con opere di una profondità media di 30-60 m, perché l'acqua è talora a una profondità inferiore ai 20 m; ma le portate sono ovviamente limitate (1-2 m³/h nelle zone granitiche, 0,5 m³/h altrove).

- b. *Formazioni vulcaniche*. Comprendono le rocce vulcaniche basiche (basalti e doleriti) e acide (rioliti e trachiti). Di formazioni basiche non ve ne sono nella zona saheliana del Sudan, e in Eritrea solo nell'area di Zula e Adoulis a E dell'Asmara. Le formazioni acide sono invece presenti alle alte quote del massiccio del Darfur (a NE di El-Fasher) e nella parte S della provincia di Kassala. In linea generale le formazioni basiche sono poco o nulla alterate con fessurazioni locali importanti fino a m 100; risorse idriche localizzate si trovano nelle giunture fra colate successive, nelle fessure e fratture, nelle facies scoriacee e nei tufi; come portata queste risorse possono essere notevoli e in zona montagnosa formano sorgenti; possono essere captate fino a 150 m di profondità con una produttività che può andare da 1 m³/h a varie decine. Le formazioni acide invece sono poco fessurate, hanno falde di difficile delimitazione che non sono mai preventivamente definibili.
- c. *Formazioni sedimentarie leggermente metamorfosate*. Sono formazioni locali influenzate da movimenti tettonici e iniettate a rocce vulcaniche. Esistono nella maggior parte della provincia di Kassala con dominante scistosa; le alterazioni possono arrivare a uno spessore di m 100 e sono di tipo argilloso; praticamente non sono sfruttabili eccetto che in contatto con la roccia sana, per cui captazioni possono aversi solo in zone fratturate e di faglia, evidentemente con portate molto ridotte. In verità di prospezioni ne sono state fatte ben poche e i dati sono molto scarsi.

1.6. *Falde saheliane adatte all'irrigazione*

L'attitudine delle acque all'irrigazione dipende da certe caratteristiche idrochimiche, in particolare la conduttività che esprime la mineralizzazione totale, e il

tasso di assorbimento di sodio espresso dalla formula SAR (*Sodium Absorption Ratio*) come segue: SAR = $\frac{Na}{\sqrt{1/2 (Ca+Mg)}}$ ³.

Questi criteri permettono di fissare 4 classi di conduttività (C) o mineralizzazione totale calcolata in gr/l: < 0,2 - da 0,2 a 0,5 - da 0,5 a 1,5 - da 1,5 a 3. Questi criteri permettono anche di fissare 4 classi di salinità (S). In base alle diverse combinazioni fra C ed S sono state stabilite 5 classi qualitative delle acque secondo la tabella che qui riportiamo (Fig. 11).

Daremo qui di seguito l'elenco delle falde saheliiane producenti risorse idriche 'eccellenti' o 'buone'. Non riteniamo importante l'elencazione delle altre classi (ammissibile, mediocre, cattiva) in considerazione del carattere eccezionale delle colture irrigue utilizzando acque sotterranee piuttosto che acque di superficie. Certamente, dovendosi mirare a una utilizzazione massima delle acque sotterranee, non si può prescindere a priori dalle acque classificate 'ammissibili' e 'mediocri', se non altro per l'orticoltura di villaggio, ma vi è qui un problema di elaborazione tecnica e i dati sulle relative falde sono comunque in buona parte disponibili⁴.

Grado	Qualità	Classi	Caratteristiche
1	Eccellente	C1-S1	Acque utilizzabili senza rischio per l'irrigazione della maggior parte delle colture sulla maggior parte dei suoli.
2	Buona	C2-S1 C2-S2	In generale acque che possono essere utilizzate senza controlli particolari per l'irrigazione di piante mediamente tolleranti al sale su suoli con buona permeabilità. I principali problemi sono dovuti alle piante troppo sensibili al sodio e ai suoli a forte capacità di scambio di ioni (suoli argillosi).
3	Ammissibile	C3-S1 C3-S2 C2-S3	In generale acque adatte all'irrigazione di colture tolleranti al sale su suoli a buon drenaggio; l'evoluzione della salinità deve tuttavia essere controllata. I principali problemi sono dovuti alle piante troppo sensibili al sodio e ai suoli di scarsa permeabilità.
4	Mediocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	In generale acque fortemente mineralizzate possono convenire all'irrigazione di certe specie ben tolleranti al sale e a suoli ben drenati e lisciviati.
5	Cattiva	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Acque che in genere non vanno bene per l'irrigazione, ma che possono essere utilizzate in certe condizioni: suoli molto permeabili, buona lisciviazione, piante molto tolleranti al sale.

Fig. 11. Classificazione delle acque per gradi di attitudine all'irrigazione (BRGM).

³ U.S. Salinity Laboratory (1954), *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*, Agr. Handbook 60, USDA (USA).

⁴ Per l'elenco completo delle falde comprendente tutte le classi qualitative vedasi BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), *Notices explicatives des cartes de planification pour l'exploitation des eaux souterraines de l'Afrique sahélienne*, 1975, pp. 63-93.

Segue l'elenco delle falde classificate come 'eccellenti' o 'buone'. I numeri romani indicati accanto alle falde corrispondono alle zone delle cartine di riferimento.

1.6.1. SENEGAL, MAURITANIA (Fig. 12)

- a. Falde freatiche del *Continente terminale del Senegal* (I): poco mineralizzate ($RS < 0,5$ gr/l) e tutte da eccellenti (C1-S1) a buone (C2-S1) limitatamente però al Senegal centrale (fascia S del Sahel) e orientale.
- b. Falde freatiche delle *dune quaternarie del Senegal* fra la costa e la strada Thiès-St. Louis da Dakar fino alla foce del fiume (III): buone (C2-S1) e a punti eccellenti (C1-S1), eccetto che alla estremità del Capo Verde dove la falda è artesia sotto il tetto granitico e nelle lagune litorali adiacenti.
- c. Falde freatiche delle *formazioni secondarie e terziarie del massiccio di N'Diass* in Senegal (IV): buone, eccetto che all'estremo S dei compartimenti calcarei.
- d. Falde alluvionali del *fiume Senegal* (V): generalmente buone solo nel corso medio e superiore (a monte di Bogué).
- e. Falde del *Brakna* e del *Trarza* in *Mauritania* (VI): generalmente buone eccetto che a SW e NW di Aleg, in prossimità del fiume Senegal e intorno al lago R'Kiz.
- f. Falda profonda del *Maestrichtiano del Senegal* (I): più della metà del serbatoio contiene acque debolmente mineralizzate ($RS < 0,5$ gr/l); sono generalmente buone, e a punti eccellenti, dal fiume Senegal fino ai $15^{\circ}W$, e poi di nuovo dal limite occidentale della falda ai $16^{\circ},45'W$, il tutto verso S fino ai $14^{\circ},3'N$ (circa le zone qui escluse sono peraltro buone nelle aree di Darou, Touba, Diene e Panal); sulla riva destra del fiume, a Nabinia in Mauritania, il Maestrichtiano presenta la stessa facies del Continente terminale (buone, con RS 0,43 mg/l).
- g. Falde discontinue delle *dolomie del Tagant* in *Mauritania* ai piedi del massiccio e nella valle del Djouk (IX): buone (C2-S1SR 1,3 a N e 1,7 a S).
- h. Falda dell'*Aouker* in *Mauritania* (X) e E della falesia dell'Assaba e dell'Aouker occidentale dove lo spessore delle sabbie è superiore a m 30 potendo raggiungere m 70-80: buone (C2-S2 con RS di 0,2-0,5 mg/l, a punti $< 0,2$; SAR da 1 a 3).
- i. Falda del *Drabr di Nema* in *Mauritania* (XI): da eccellenti (C1-S1) a buone (C2-S1, con $RS < 0,5$ mg/l, SAR < 1).

1.6.2. MALI (Fig. 13)

- a. Falda freatica del *bacino di Ségou* (XII): eccellenti (C1-S1) in quanto alimentata dalle acque del Niger con RS di 0,08-0,1 mg/l; e tutte le acque sotterranee alluvionali del delta interno sono praticamente identiche a quelle del fiume; passano a buone (C2-S1) mano mano che ci si allontana dal fiume perché si mineralizzano leggermente nel Continente terminale arenaceo e nelle arenarie fessurate del Primario.

- b. Falda della *pianura di Gondo* (XIII): eccellenti (C1-S1) nella cintura periferica della pianura, buone (C2-S1) nelle zone mediane, ammissibili (C3-S1) al centro, mediocri in un'area a N della pianura.



Fig. 12. Foglio Ovest (cartina di riferimento BRGM). (Vedi Appendice tavv. XIX-XX).

- c. Falda dell'*Azaouad meridionale* nella regione di Tombuctù e nel Gourma, limitata a NW, S ed E dal basamento primario e contenuta nelle arenarie argillose del Continentale terminale (XV): generalmente buone (RS 0,2-0,3 mg/l - SAR < 3), eccetto che nei pozzi raggiungenti gli scisti argillosi del basamento e nel Continentale terminale della parte N del Gourma; in genere buone anche verso NE, nelle sabbie quaternarie del Continentale terminale (invece diventano mediocri a SE nello 'stretto sudanese' e a E di Gao).

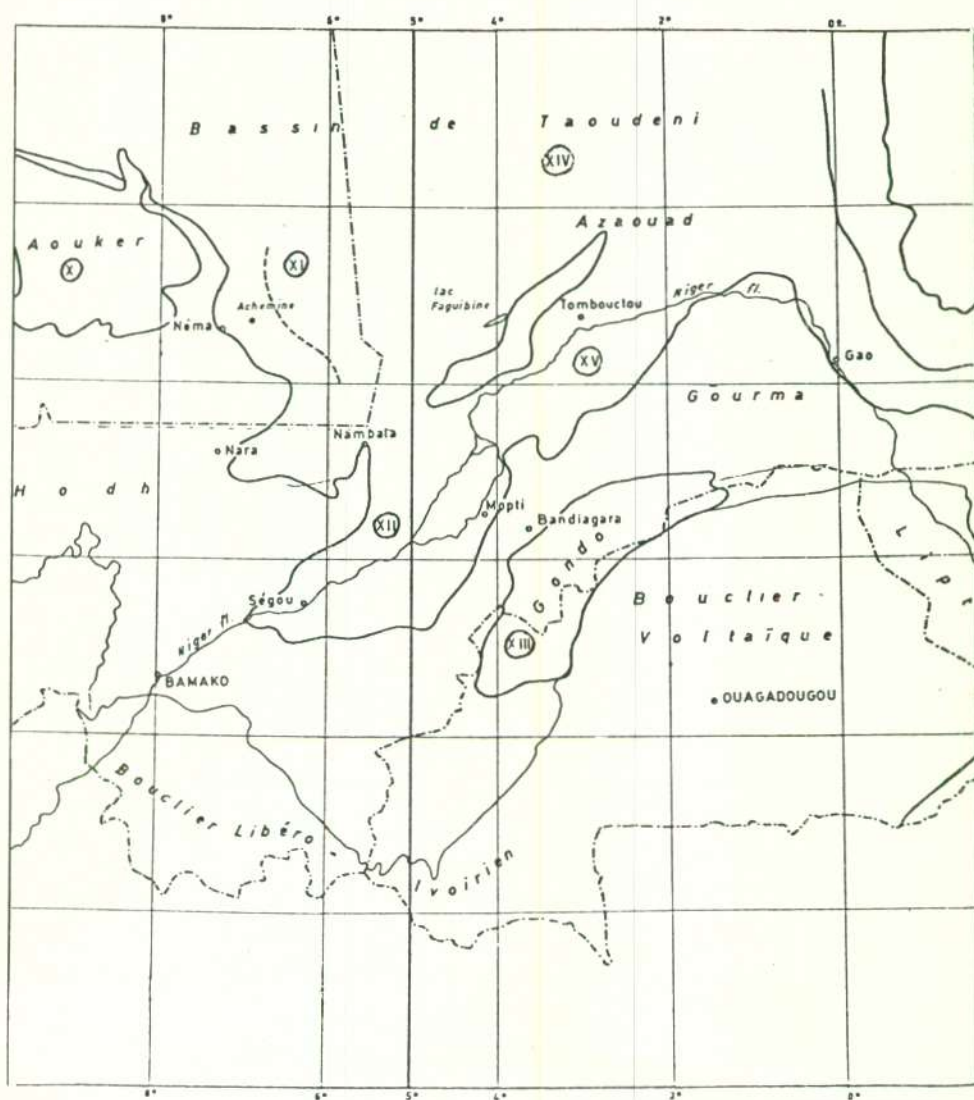


Fig. 13. Foglio centrale, parte Ovest (cartina di riferimento BRGM). (Vedi Appendice tav. XXI).

1.6.3. NIGER (Fig. 14)

- a. *Falda freatica del Continentale terminale del Niger sud-occidentale* che va dal fiume a W fino all'Adar Doutchi a E (XVI): da eccellenti a buone (C1-S1), poco mineralizzate (RS 0,05 a 0,3 mg/l - SAR < 1, solo eccezionalmente 4,5 o 7); buone anche a S di Boukounou sul Dallol Bosso e a S di Diuoundou sul Dallol Maouri (C1-S1 e C2-S1 — RS 0,02 a 0,3 mg/l — SAR 0,6 a 4,2); invece molto variabili e raramente buone a N delle zone indicate.

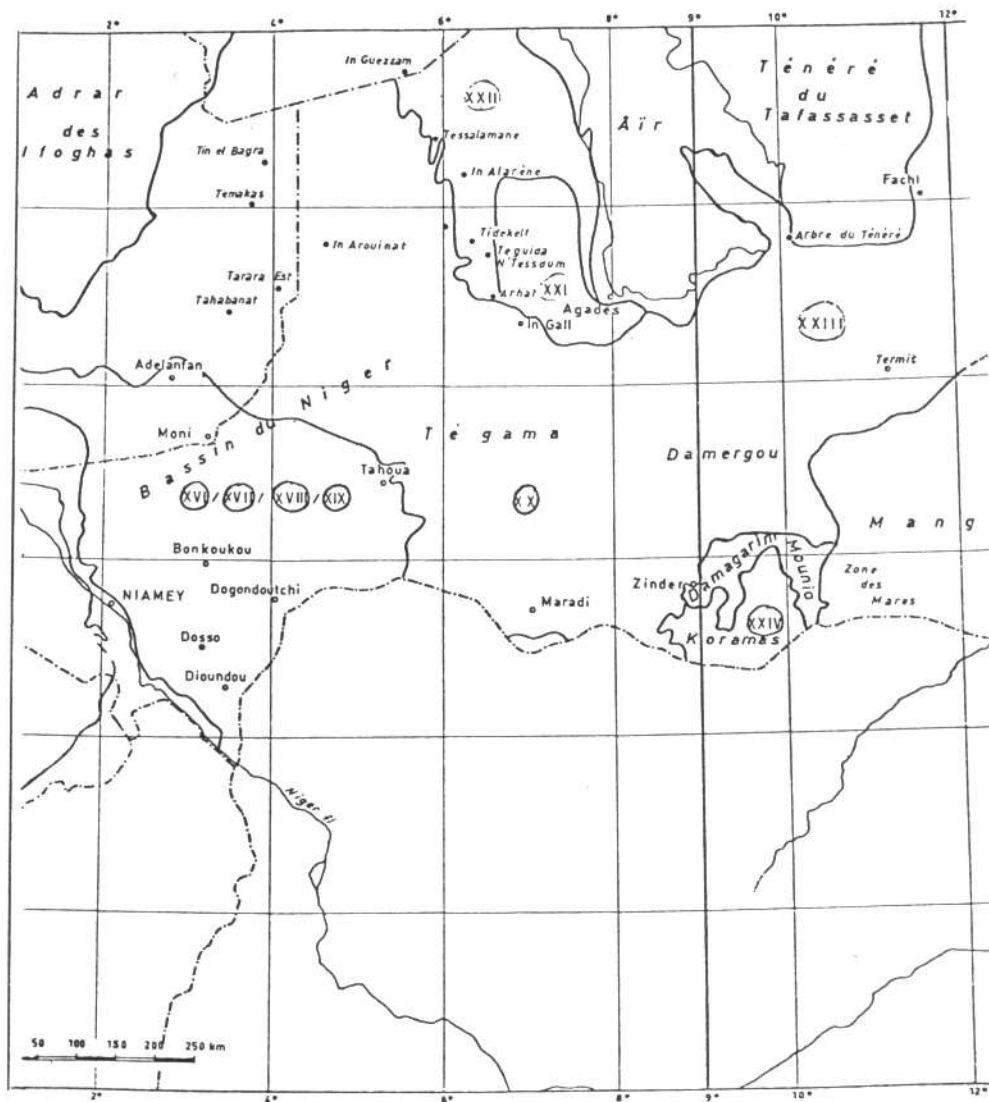


Fig. 14. Foglio centrale, parte Est (cartina di reperimento BRGM). (Vedi Appendice tav. XXII).

- b. *Falda mediana del Continentale terminale*, contenuta negli strati sabbiosi della serie argillo-arenacea che diviene interamente argillosa a S di Tebiri (XVII): da eccellenti a buone (C1-S1, C2-S2 — RS 0,06 a 0,25 mg/l — SAR debole).
- c. *Falda profonda del Continentale terminale*, contenuta al piano di base siderolitico, che diviene freatica verso E nella regione di Tahoua e artesiane al piano del Dallol Maouri (XVIII): da buone a eccellenti, eccetto che nella regione di Kouré-Birni N'Gaouré dove sono solo ammissibili.
- d. *Falda profonda artesiane del Continentale intercalare*, situata al disotto del Continentale terminale (XIX): è solo nota nella regione del Dallol Maouri, dove le acque sono da eccellenti a buone nella metà orientale che si prolunga sotto l'Adrar Doutchi e lungo il dallol; si degradano però rapidamente verso W.
- e. *Falda del Continentale intercalare oltre i limiti del terminale* (XX): buone (C2-S1) ma degradantesi verso N (C2-S3); buone o eccellenti in tutta la vasta regione tra la falesia di Tiguidit e la frontiera nigeriana; da eccellenti a buone a S di Maradi.
- f. *Falda dei Koramas a S dei massicci del Damagarim e del Mounio* (XXIV): nell'insieme buone o eccellenti, ma si degradano per la mineralizzazione verso E e diventano solo ammissibili mano a mano che la falda sprofonda nelle alluvioni antiche.
- g. *Falda freatica del Niger orientale*, compresa fra il Quaternario di Agadem nel Sahara a N, il Koutous e il Mounio a W, la frontiera nigeriana a S e il lago Ciad a E (XXV): da buone a eccellenti nel Kadzell all'estremo S dell'area, eccetto che lungo il fiume Komadougou (ammissibili) e sulle rive del lago (cattive).

1.6.4. CIAD, SUDAN (Fig. 15)

- a. *Falda freatica del Ciad*, limitata a N dai terreni primari poco o nulla permeabili del Borkou, a E dai terreni cristallini del Ouaddai e del Guéra, mentre si prolunga a S e SE nella regione dei Koros e dell'Aouk-Salamat, e a W nella falda freatica del Manga nigerino; le regioni dove le acque sono favorevoli per l'irrigazione sono le seguenti: a) nel Kanem occidentale e nel Harr (XXVI) sotto le sabbie dunari, da buone (C2-S1 — SAR 0,8 a 5,8) a eccellenti (C1-S1 — SAR 0,8 a 2,5), in quanto bene alimentate dalle piogge; b) nel Batha (XXVII), al livello del Continentale terminale e del Pliocene, buone (eccellenti nel Sahara verso Faya Largeau); c) nel Baguirmi (XXIX), dove sono contenute nelle formazioni del Quaternario antico e alimentate dalle acque del Chari e del Logone, da buone a eccellenti (bicarbonatiche calciche). Da notare che sono poco conosciute, sia in Niger che in Ciad, le acque della falda profonda del Pliocene inferiore e del Continentale terminale.
- b. *Falde sedimentarie delle Arenarie di Nubia e di Umm Rubawa del Kordofan centro-occidentale in Sudan*: generalmente buone nelle falde superiori (RS < 1 gr/l), eccetto che in certi punti delle zone molto aride e con poca alimentazione di pioggia; mancano però dati di dettaglio.

- c. Falde del 'complesso di base' del Sudan e dell'Eritrea: nel Darfur, nel Kordofan e in Eritrea generalmente buone, eccetto che nelle regioni non aride e nei graniti; anche qui però mancano dati di dettaglio.

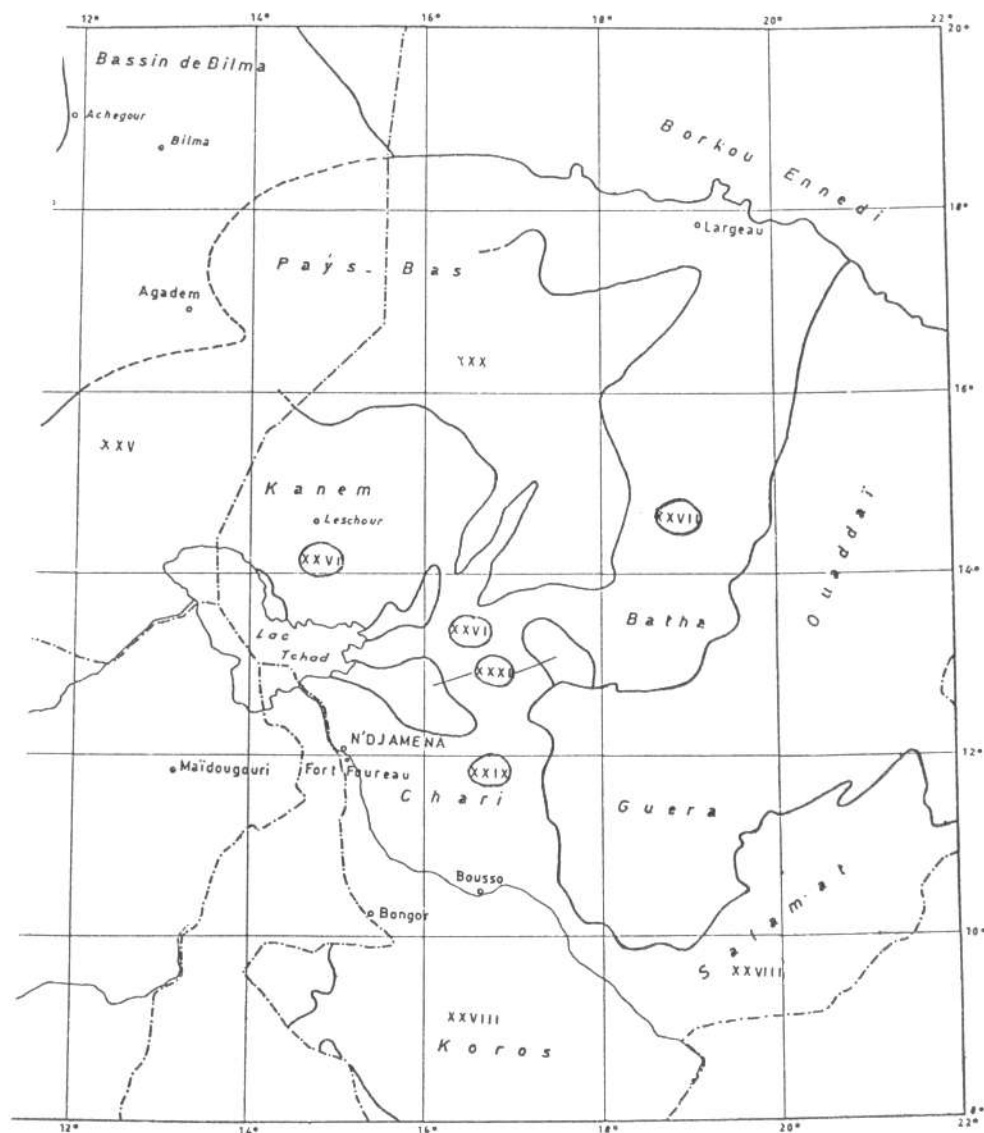


Fig. 15. Foglio Est (cartina di reperimento BRGM). (Vedi Appendice tavr XXIII XXIV).

1.7. Costi di sfruttamento

Non diamo qui i costi di sfruttamento delle falde perché sarebbe quanto mai inopportuno mettere l'accento sull'aspetto economico-finanziario delle forniture idriche (daremo solo il costo approssimativo dei diversi tipi di manufatti, 2.4-3.4). Infatti l'acqua potabile per il consumo umano detiene il primo posto assoluto nella scala dei problemi della 'qualità della vita': anche fisiologicamente, se l'uomo può sopportare lunghi periodi di carestia alimentare o scioperi della fame, la mancanza d'acqua determina la morte nel giro di un paio di giorni; e per quanto riguarda l'acqua di abbeveraggio possiamo ricordare che nelle regioni saheliene l'allevamento rappresenta la prima attività economica per importanza relativa. Una corretta politica idrogeologica quindi deve mirare alla esecuzione di tutte le opere di fornitura idrica necessarie, *quale che ne sia il costo*. Ciò non ha nulla di eterodosso da un punto di vista economico perché per questo bisogno vitale la legge di utilità marginale non è ovviamente operante: se un economista o esperto finanziario si trovasse completamente disidratato nel Sahara, ma in possesso di denaro, non rifiuterebbe certo di pagare dell'acqua al prezzo di 300.000 lire al litro, come per i vini da enoteca⁵.

2. Idraulica di villaggio

2.1. I pozzi tradizionali

Si distinguono in temporanei e permanenti. I primi non superano in genere una decina di m e sono scavati in maniera sommaria nelle depressioni alluvionali e sul fondo di corsi d'acqua stagionali; si tratta di falde di estensione ridotta, con grandi variazioni di livello che si prosciugano durante la stagione secca. È appunto in questa stagione che si procede allo scavo mano mano che cala il livello dell'acqua; il diametro dei manufatti è di circa m 0,80-1, sufficiente per il passaggio di un uomo. Se la tenuta del terreno è buona (per es. suoli argillo-sabbiosi) e il livello cala rapidamente, lo stesso pozzo può essere usato tutto l'anno con scavi successivi; ma nel terreno sabbioso e con lento abbassamento di livello il pozzo può crollare prima del ritorno delle piogge. Il rivestimento, quando esiste, è in paglia, stuoie o ramaglia e non può impedire il passaggio della sabbia che deve essere continuamente rimossa, il che finisce per formare un vuoto sul fondo e il franamento della parte superiore. La bocca del pozzo, più stretta del fondo, è guarnita con 4 legni

⁵ Calcoli molto precisi sui costi di captazione nel Sahel sono comunque contenuti nel citato studio della BRGM, pp. 27-62. Essi si basano sullo sviluppo della seguente formula semplificata:

$$Cu = \frac{IF/na + SV}{V} = CuF + CuV$$
 dove Cu rappresenta il costo unitario del m³ di acqua sotterranea prodotto, IF gli investimenti fissi delle strutture e attrezzature, na il numero di anni di ammortamento, SV le spese variabili, V il volume annuale dei m³ estratti, CuF i costi unitari fissi, CuV i costi unitari variabili. Allo studio sono allegate le carte delle falde per livelli di costo delle opere.

disposti ad angolo retto. Le portate sono limitate, da qualche litro a qualche centinaio di litri all'ora, e il livello dell'acqua è spesso inferiore a m 0,50. Questi pozzi vengono scavati rapidamente (1-3 giorni), talora in gran numero. Da notare che per lo sfruttamento di falde alluvionali di modesta estensione e di cattiva permeabilità sono in genere più adatti dei pozzi moderni fatti a regola d'arte.

I pozzi permanenti sono anch'essi molto diffusi. Possono arrivare a profondità di m 90-100 e anche oltre, ma la grande maggioranza non supera i m 60. Sono opera di pozzaioli specializzati. Non hanno parapetto; il diametro è di m 0,80-1, lo scavo è fatto con la 'daba' (zappa a manico corto) e la barramina, lo sterro con un secchio di legno. Il rivestimento di sostegno delle pareti è eseguito solo nei tratti dove è necessario e con materiali vari (legni di Ø cm 10-20 incrociati, ramaglia di Ø cm 2-5 flessibile, paglia, pietre). Questi pozzi non possono essere scavati in terreni troppo duri o troppo teneri e di cattiva tenuta. L'inconveniente maggiore è che captano la falda in modo molto limitato: se si eccettuano i terreni di buona tenuta a portata ridotta (rocce fessurate, come gli scisti) la penetrazione nella falda raramente supera i m 0,50. A seguito della presa dell'acqua l'insabbiamento è rapido e continuo nonostante le ripuliture; alla fine si crea alla base una caverna che si allarga determinando il crollo del terreno sovrastante. La durata di questi pozzi è solo di qualche anno, ma nelle condizioni più favorevoli si sono avute durate di 20-30 anni. L'estrazione dell'acqua è fatta con contenitori vari che vanno da 5 a 40 l (calebasse, recipienti metallici di recupero, ghirbe di camere d'aria, ghirbe di cuoio o 'délou'), a mano, oppure a trazione animale su puleggia rudimentale consistente in una sezione corta di palo di legno con perno rotante sulla forcilla di un tronco inclinato.

I pozzi tradizionali sono ancora nel Sahel la stragrande maggioranza, fatto che ha pesato tragicamente nel contesto della grande siccità degli anni 1972-1973 (cap. VIII, 2.1.). Attualmente la situazione è ancora la seguente: la grande maggioranza della popolazione beve acqua non potabile — acque sotterranee inquinate per le caratteristiche dei pozzi tradizionali o acque di superficie — ovviamente con grave pregiudizio della salute, in particolare, ma non solo, dei bambini, per via di parassiti intestinali, amebe, enterocoliti ed epatiti. In certi pozzi dei Dogon in Mali l'acqua è di colore verde bottiglia scuro e viene sommariamente filtrata con un normale tessuto di cotone. In molti villaggi l'acqua da bere, anche non potabile, deve essere attinta ogni giorno dalle donne in estenuanti corvées sotto il sole per distanze anche di 3-4 km.

2.2. Funzione dell'idraulica di villaggio

La funzione è quella di assicurare acqua alla popolazione in quantità sufficiente e di qualità adatta per i vari usi, nel villaggio stesso o nelle sue immediate adiacenze (comunque a una distanza non superiore ai m 200). Quindi, tanto per precisare un modulo medio:

- a. *Acqua potabile da bere e per uso di cucina*, in ragione di 1 10 giornalieri per abitante, proveniente da un pozzo costruito a regola d'arte: deve essere esclusa la soluzione di rendere chimicamente potabili (pastiglie) acque sotterranee inquinate o acque

di superficie, perché l'operazione sarebbe sempre trascurata per negligenza o ragioni di costo. Questa possibilità di fornitura di acqua potabile esiste in qualsiasi villaggio saheliano perché si tratta di portate minime, mentre le zone totalmente prive d'acqua sono generalmente spopolate.

- b. *Acqua non potabile ma pulita*, per la toletta e il bucato (1 5 giornalieri a testa); per l'abbeveraggio degli animali domestici, ovini e caprini (1 5, calcolando 1 capo per abitante), bovini (1 5, calcolando 0,25 capi per abitante)⁶.

Il totale giornaliero necessario di acqua potabile e non potabile è dunque di 1 25 per abitante.

L'acqua potabile deve essere di origine sotterranea, la non potabile deve essere di superficie, almeno di preferenza, perché anche nell'ipotesi che la portata del pozzo sia sufficiente per tutti gli usi, sarebbe di utilizzazione troppo onerosa con estrazione fatta a mano o meccanicamente con pompe a mano o a piede. Se esiste nelle vicinanze (distanza inferiore a 1 km) un corso d'acqua perenne il problema è risolto per questa parte. Nel caso contrario, o se il corso d'acqua non è perenne, bisognerà conservare dell'acqua piovana durante i 9 mesi della stagione secca, consumandola un poco alla volta. A questo fine si potrà utilizzare un bacino o bassofondo naturale, o lo si scaverà appositamente (2.4.2.); in presenza di un corso d'acqua non perenne, una dighetta farà al caso.

Se poi il pozzo avrà una portata sufficiente per tutti gli usi, e l'eduazione sarà fatta mediante pompaggio con motore solare a fotocellule⁷, in questo caso tutti i problemi saranno risolti: vi sarà un serbatoio in cemento dell'acqua potabile con relativi rubinetti, e il suo troppo pieno passerà ad altro serbatoio dello stesso manufatto che sarà collegato con l'abbeveratoio degli animali e il lavatoio per il bucato. L'acqua in eccedenza potrà essere impiegata nell'orticoltura irrigua (con 5 m³/g supplementari si può coltivare un orto permanente di m² 500). Sarà comunque da escludere il pompaggio a energia convenzionale (gruppo elettrogeno) a causa del costo del carburante e dell'impossibilità di manutenzione (cap. XIII).

In base ai parametri dati possiamo esemplificare un modulo quantitativo giornaliero per un villaggio di 300 abitanti:

- Acqua di falda potabile hl 30: pozzo di portata 3 m³/g o 0,5 m³/h con estrazione a mano o meccanica a mano o a piede per 10 ore giornaliere.
- Acqua di superficie non potabile (in mancanza di corso d'acqua) hl 45 o m³ 4,5 giornalieri che moltiplicati per 273 giorni dà un totale di m³ 1228,5 ai quali bisogna aggiungere il volume totale evaporato durante il periodo: un bacino di m³ 2500 sarà sufficiente.
- Acqua sotterranea per tutti gli usi hl 75: pozzo di portata 1,2 m³/h per 7 ore giornaliere con motore solare a fotocellule (cap. XIII).

⁶ Per 1 UBT (unità di bestiame tropicale di 250 kg a peso vivo) occorrono giornalmente 1 30 in stagione calda, 1 20 in stagione fresca e 1 10 in stagione piovosa.

⁷ Vedasi come esempio i numerosi motori solari a fotocellule installati sulla riva destra del Bani in Mali, nella zona di San e Koni, alla progettazione dei quali ha partecipato chi scrive, in particolare quello del villaggio di Nabasso isolato nella boscaglia a 17 km dalla strada asfaltata.

2.3. Programmazione

Il modulo descritto — 300 abitanti, bisogni idrici di 75 hl giornalieri — corrisponde al villaggio sedentario saheliano tipo. Si tratta però di un modulo teorico che in sede di programmazione deve essere modificato in base ad analisi socio-economica dei villaggi interessati.

La programmazione dipenderà dai parametri seguenti: a) numero di abitanti; b) struttura sociale del villaggio e attività prevalenti; c) struttura topografica del popolamento e dispersione dell'abitato; d) esistenza o meno di un corso d'acqua nelle vicinanze (meno di km 1) per i bisogni di acqua non potabile; e) profondità e produttività della falda; f) caratteristiche meccaniche del terreno, tipo di pozzo e tecnica di costruzione; g) profondità del livello di equilibrio e sistema di educazione; h) orografia (in zona montagnosa con sorgenti in quota la fornitura idrica si realizza per gravità con sistemi di 'standpipes'). Circa il numero di abitanti è consigliabile calcolarlo con una proiezione ventennale in base a un incremento demografico annuo del 2% (un villaggio di 300 abitanti sarà progettato per 414, uno di 1000 per 1380). L'articolazione dei bisogni idrici di questo modulo nelle sue molteplici combinazioni permette comunque di risolvere i problemi di qualsivoglia villaggio saheliano sedentario (per il villaggio transumante o nomade come vedremo il modulo sarà diverso), specie considerando che la quantità di acqua di falda richiesta è modesta e disponibile praticamente ovunque.

In sede di programmazione, e per ridurre le spese generali, sarà opportuno concepire progetti comprendenti tutti i villaggi di un dipartimento, o quanto meno di un distretto ('cercle', 'district'); è anche consigliabile progettare soluzioni simili in serie per zone omogenee. Nel caso più difficile di popolazioni non concentrate in villaggi, ma disperse in una molteplicità di frazioni o cascinali tradizionali (occupati generalmente da un'unica famiglia estesa), la programmazione verrà fatta nella misura del possibile distribuendo i punti d'acqua potabile per unità topografiche di popolamento e badando a che l'acqua non disti di oltre 1 km dai rispettivi utilizzatori.

Nei progetti di idraulica di villaggio si deve totalmente prescindere dagli abituali calcoli di redditività dell'investimento: trattandosi della prima priorità nel quadro della « qualità della vita » è il criterio sociale e qualitativo che deve prevalere piuttosto che quello dell'aumento della produzione lorda pro-capite. E del resto si potrà sempre contare, almeno in prospettiva, anche su un miglioramento quantitativo del potenziale produttivo: sul piano sanitario si avranno bambini e adulti più sani e robusti per i lavori agricoli, su quello della manodopera il tempo perso dalle donne nel trasporto dell'acqua potrà essere dedicato ad altre funzioni domestiche trascurate, come l'allevamento e l'orticoltura.

L'esecuzione di progetti di idraulica di villaggio (a differenza di quelli di idraulica pastorale) è per eccellenza una attività adatta all'investimento umano, ossia alla utilizzazione di manodopera non remunerata proveniente dai villaggi interessati: data l'importanza della fornitura idrica questa forza di lavoro è sempre e ovunque disponibile. Il vantaggio di questo concorso non sta solo nell'economia del progetto, ma anche e soprattutto nel fatto che la stretta partecipazione al-

l'esecuzione del manufatto mette gli abitanti in condizioni di meglio conoscerlo e di poter più facilmente provvedere senza aiuto esterno alla manutenzione corrente⁸. Un progetto comunque deve sempre comprendere l'obbligo per l'impresa incaricata di assicurare una formazione sul posto di lavoro, in primo luogo nei riguardi degli scavatori tradizionali di pozzi che hanno una conoscenza professionale dei problemi relativi.

2.4. *Aspetti tecnici e caratteristiche delle opere*

2.4.1. ACQUE SOTTERRANEE

Data l'entità modesta delle portate, il problema può sempre risolversi in prossimità di un villaggio, anche in condizioni idrogeologiche mediocri (per es. formazioni del basamento cristallino). Inoltre in uno schema di sfruttamento idrico così decentralizzato non vi è mai il rischio (salvo rare eccezioni) di un eccessivo sfruttamento delle falde. Le grandi falde a forte potenziale non saranno sempre le più convenienti: le piccole falde superficiali sono molto più adatte delle falde estese quando sono profonde anche perché richiedono tecniche più semplici. Bisogna tuttavia stare attenti a non esagerare nelle semplificazioni fino al punto di far preferire agli interessati i pozzi tradizionali rispetto ai moderni. Nell'idraulica di villaggio l'ordine dei valori è rovesciato rispetto alle forniture idriche di grande portata (pastorali, urbane, industriali, irrigue): falde come quelle del basamento cristallino passano in primo piano perché la loro modesta permeabilità, in genere un elemento negativo, ha come contropartita una minore profondità dell'acqua che ne permette l'estrazione a mano; in presenza di falde sovrapposte è infatti la prima, la falda freatica, che viene preferita; fra l'altro i pozzi in terreni molto duri, come gli scisti e certi calcari, si possono scavare anche senza rivestimento cementizio.

Le formazioni geologiche con le quali si può avere a che fare sono come sappiamo le seguenti (cap. II e cap. IX, 1.):

- a. *Formazioni del basamento precambriano.* Sono le formazioni antiche più o meno granitizzate (graniti, gneiss) e le formazioni più o meno metamorfiche a dominante scistosa e quarzitica: sono acquifere irregolarmente a seconda delle alterazioni e fratture, presentano rocce dure (se le alterazioni non sono superficiali), occupano zone vastissime nel Sahel occidentale, sono ideali per l'idraulica di villaggio data la prossimità al suolo del livello idrico. A esse si possono aggiungere le formazioni vulcaniche, pure caratterizzate da fratture, abbondanti nei basalti recenti, rare nelle doleriti del Sahel occidentale e nelle lave acide: occupano soprattutto certe zone del Sahel orientale (Eritrea), ma il livello idrico è talora profondo (20-50 m).
- b. *Formazioni infracambriane e primarie.* Sono formate come le precedenti di rocce dure (arenarie, quarziti, scisti, anche carbonati), sono spesso tabulari e contengono

⁸ Anche l'economia dell'investimento può comunque essere notevole: nel 1978 e nel paese Dogon del Mali pozzi in roccia scavati con la dinamite costavano al metro lineare 130.000 FM se fatti dall'amministrazione, 80.000 FM se fatti dal FED (CCE), 25.000 FM se fatti dal missionario cattolico (Padre Joseph Dechamp).

una falda più o meno continua ma in genere poco profonda: presentano gli stessi vantaggi delle precedenti per l'idraulica di villaggio quanto a livello idrico (30-60 m), eccetto che in situazioni del tutto particolari (forti portate nelle formazioni calcaree o basaltiche talora accompagnate da giacimenti profondi, tipiche delle zone montagnose).

- c. *Formazioni sedimentarie postprimarie e falde rocciose di ricoprimento recenti.* Sono caratterizzate da rocce tenere (sabbie, arenarie tenere) e contengono falde continue, a volte di considerevole estensione, che possono presentarsi sovrapposte su vari livelli, le cui riserve idriche possono essere artesiane ai livelli medi meno permeabili: nelle zone sedimentarie o di terreni antichi ricoperte dalle grandi formazioni del Continentale intercalare o terminale (per es. Arenarie di Nubia), e parimenti nelle grandi distese di formazioni recenti e alluvionali, la falda presenta in genere favorevoli condizioni per l'idraulica di villaggio; per contro, data la varietà dei casi di dettaglio, la falda freatica può non essere sufficientemente superficiale o di buona qualità, o all'inverso le falde sono troppo profonde.

Nella stagione secca le portate dei pozzi sono molto variabili perché dipendono dalla permeabilità dei terreni che contengono le falde. In linea di massima le portate in litri/ora sono le seguenti nei diversi suoli (l/h):

— Alluvioni sabbiose e sabbio-argillose, sabbie, ghiaie	1000-4000
— Sabbie a granulometria variabile	1000-2000
— Argille più o meno arenacee	100-500
— Arenarie argillose del Continentale terminale	300-1000
— Lateriti più o meno argillose	500-1000
— Carapaci, concrezioni ferruginose	500-8000
— Arenarie primarie silicee	0-500
— Scisti precambriani in superficie	50-200
— Doleriti alterate in superficie	50-100
— Argille caoliniche	20-100
— Arkose molto variabili	50-200
— Calcari e calcari marnosi	50-200

Diamo ora l'elenco dei tipi di opere di presa d'acqua adatte alle formazioni geologiche descritte, con le loro caratteristiche:

A. Pozzo a mano con estrazione tradizionale

- *Condizioni:* falda libera a meno di m 80 (è la pratica attuale, ma vi sono pozzi fino a oltre m 150); profondità abituale quella della falda, a 3-15 m; è un tipo di pozzo molto corrente che può talora rispondere anche alle esigenze dell'uso pastorale.
- *Geologia:* arenarie o scisti teneri non espansibili, sabbie di buona tenuta, alteriti (frange di basamento alterate), formazioni molto vicine al suolo (per es. corazze lateritiche acquifere).
- *Tecnica:* rivestimento in cemento con anelli colati in sito, calanti o rimontanti a seconda della natura del terreno, e nei terreni di cattiva tenuta rivestimento calato in blocco con scavo interno; tubo di captazione (perforato monolitico) di minor diametro messo in sito con scavo interno; filtro in ghiaia alla base; scavo a mano, a martello pneumatico, a benna mordente emisferica (nei terreni franosi), a dinamite

(nei terreni rocciosi duri). Varianti a meno di m 20: tubo di captazione calato a scavo fin dalla superficie (metodo utile dove si incontra il basamento). Tempo: uno o più mesi secondo la profondità. Diametro: rivestimento m 1,80-2, tubo di captazione m 1,40-1,60.

- *Estrazione dell'acqua*: a mano, plurima con forcelle e pulegge in legno (5-10 persone); profondità m 3-10 sotto il livello di equilibrio della falda (m 10 se c'è il basamento).
- *Costo indicativo* (1984): Lire 240.000-720.000 al m lineare in roccia dura, 520.000-780.000 in roccia tenera (da notare che la natura molto variabile del costo rende in genere le imprese ostili a questo tipo di pozzo).

B. Pozzo a perforazione meccanica 'bucket' ('tarrière')

- *Condizioni*: falda a meno di m 20 in roccia tenera ma a tenuta sufficiente, profondità massima m 30; questo tipo di pozzo ha un'applicazione piuttosto rara.
- *Geologia*: alteriti, arenarie tenere (con acqua in superficie).
- *Tecnica*: scavo circolare con cilindro a lame elicoidali (bucket) innestato al termine di una serie di aste telescopiche (kelly), azionato a rotary; posa di tubaggio provvisorio per consentire la riduzione del diametro in caso di necessità (frame); sistemazione del foro con colonna di tubi in cemento a tacche e filtro di ghiaia alla base (tubaggio di fibra di vetro allo studio). Tempo: un giorno. Diametro: pozzo m 1,50, tubo m 1-1,20 (interno 1). Profondità: limite m 30.
- *Estrazione dell'acqua*: a mano (2-4 persone), con 4 forcelle e pulegge di legno, con pompa a mano o a piede.
- *Costo indicativo* (1984): Lire 740.000 al m lineare.

C. Perforazione 'tipo basamento'

- *Condizioni*: falda a meno di m 50, roccia dura; profondità abituale m 30-80 (media m 50); è in pratica il tipo di perforazione più richiesta.
- *Geologia*: graniti, gneiss, micascisti, lave; Precambriano o Primario arenacei, dolomitici o scistosi.
- *Tecnica*: rotary ad aria compressa fornito di martello di fondo, con compressore di potenza 20.000 l/minuto a 10 bar; perforazione di 5-10 m/h (2 m/h in roccia dura). Varianti: perforatrice a martello di fondo tipo Stenuick o Aquadrill, percussione a scavo. Tempo: 8-10 trivellazioni al mese. Diametro: 6" (8" nelle alteriti), 4"-4,5" per il tubo e la sezione di captazione in PVC (in roccia dura il foro non abbisogna di rivestimento).
- *Estrazione dell'acqua*: pompa a mano o a piede.
- *Costo indicativo* (1984): Lire 480.000 al m lineare.

D. Perforazione in terreno tenero

- *Condizioni*: falda continua a meno di m 50; formazioni varie in genere a porosità di interstizio; profondità abituale m 30-70 a seconda del livello della falda e della permeabilità del terreno.
- *Geologia*: sabbie, argille, arenarie o calcari teneri (formazioni di ricoprimento o piani superiori dei grandi bacini sedimentari).

- *Tecnica*: percussione a cavo o rotary a fango. Varianti: rotary ad aria compressa (metodo più rapido se la tenuta del terreno lo permette). Tempo: 5-10 giorni per trivellazione di 50-80 m. Diametro: 6-8" tubo di rivestimento, 4-5" tubo di captazione (sezione di captazione e filtro devono essere studiati in funzione della granulometria del terreno con cementazione in testa).
- *Estrazione dell'acqua*: pompa a mano o a piede.
- *Costo indicativo* (1984): Lire 460.000-920.000 al m lineare a seconda della profondità.

E. Soluzioni di carattere eccezionale.

In genere i problemi dell'idraulica di villaggio si risolvono con questi tipi di pozzi perché non si stabiliscono villaggi in zone prive di acqua a causa della profondità della falda. Qualora però fosse necessario raggiungere una falda profonda per altri fini (per es. una coltura irrigua con acque sotterranee) vuol dire che dovranno progettarsi pozzi di tipo pastorale, cioè perforazioni con contropozzo, perforazioni in roccia dura o sedimentaria con estrazione mediante motopompa o idropompa (3.4.).

Circa i mezzi di estrazione la pompa a mano o a piede si è rivelata uno strumento necessario per due motivi: a) se l'attingimento è fatto a mano con secchio a una certa profondità (oltre m 10) l'operazione è così lenta e faticosa che praticamente si risolve in una carenza d'acqua quale che ne sia la disponibilità; b) le pompe garantiscono dall'inquinamento. Di queste pompe ve ne sono vari tipi. Fra le pompe a mano classiche a pistone i tipi a leva e a 1-2-3 assi sono almeno 8, fino alla più recente che è a trasmissione per cavo (Brian-Nepta); ci sono poi le pompe a manovella su ruota (Goldwin-w-lh) o volano (Duba Type III, Brian-Africa). Fra le pompe a piede ce ne sono a pistone con comando diretto al piede (Kangaroo), rotative ad asse verticale con pedali come in una bicicletta (Mono), a trasmissione idraulica (Vergnet), a compressione elastica (Petro). Purtroppo però le pompe di produzione corrente solo raramente si adattano all'ambiente africano e il problema in sostanza non è stato ancora risolto in modo soddisfacente, il che ci offre uno dei segni dello scarso interesse della tecnica occidentale e degli organismi internazionali per il problema della sete nel Terzo Mondo; la cosa è tanto più incomprensibile in quanto si tratta di un mercato immenso. È certo strano che un'industria così orgogliosa, creatrice di elaboratori elettronici, satelliti e missili non sia capace di produrre un modello di pompa a mano o a piede solidissima, con tutti i coefficienti di resistenza maggiorati, di lunghissima durata, che non abbia bisogno di manutenzione, adatta per località isolate e desertiche... Ma si sa bene che gli ingegneri di elaboratori, satelliti e missili non sanno più costruire una carriola.

Per l'idraulica di villaggio una soluzione che si dovrà cercare di generalizzare, accanto alle pompe a mano e a piede, è quella dei motori solari a fotocellule e dei motori eolici, circa i quali forniremo i dati essenziali (cap. XIII).

Un problema complesso e delicato, dato l'ambiente, è quello della manutenzione dei pozzi e delle perforazioni. Le operazioni di manutenzione e riparazione più correnti sono la pulitura del fondo dai cocci e oggetti caduti all'interno (talora raggiungono m 1 all'anno), o dalla sabbia penetrata attraverso i fori del tubo di

captazione; la pulitura del tubo medesimo quando i fori vengono intasati da elementi più grossi del suolo; l'aggiunta di ghiaia filtrante alla base; il reinterro o lo sterro degli accessi al parapetto o la sopraelevazione dello stesso.

Anche questa manutenzione più corrente costituisce un problema gravissimo date le distanze e l'isolamento di tante opere. Tutte le amministrazioni saheliene dispongono di squadre di manutenzione che però sono o insufficienti, o prive di mezzi tecnici, o prive di fondi (per es. di carburante per i veicoli).

È per questo importante che i progetti di idraulica siano accompagnati dalle misure seguenti: a) associazione degli scavapozzi tradizionali locali e della gente del villaggio ai lavori di costruzione, con formazione sul cantiere, in modo che possano ben conoscere i manufatti e siano in grado di provvedere da soli almeno alla manutenzione più semplice; b) attribuzione nel finanziamento del progetto di una percentuale destinata al rafforzamento delle squadre di manutenzione con relativo impegno dell'amministrazione di intervenire quando necessario; c) in occasione dei suoi interventi l'amministrazione, qualora sia a corto di fondi o meglio di regola, deve percepire dal villaggio un congruo canone per il servizio reso. Quest'ultimo punto è della massima importanza perché i notabili e i capifamiglia dei villaggi, consapevoli dei loro bisogni idrici, sono ovunque sempre pronti a versare il canone seduta stante, mentre in molti casi si vengono a trovare di fronte a una situazione paradossale: da una parte vige il principio da 'socialismo scientifico' che compete allo stato di provvedere gratuitamente, dall'altra l'amministrazione a corto di mezzi non interviene, col risultato che il villaggio resta a secco⁹.

2.4.2. ACQUE DI SUPERFICIE

Le riserve di acqua non potabile sono necessarie, come abbiamo visto (2.2.), in mancanza di un corso d'acqua perenne nelle vicinanze, e possono assicurarsi sistemando opportunamente un bassofondo naturale collettore di acqua piovana, o scavando un bacino artificiale, o costruendo una dighetta in terra in un corso d'acqua non perenne. Un villaggio di 300 abitanti, come si è detto, abbisogna di un totale annuo di acqua non potabile ma pulita dell'ordine di m^3 1200.

Questo quantitativo può essere assicurato con un bacino di acqua piovana di m $100 \times 10 \times 2,5$, per totali m^3 2500, che in 9 mesi potrà perdere per evaporazione circa m^3 1200 a patto che questa venga ridotta del 20% e che siano eliminate le perdite per infiltrazione. L'evaporazione sarà diminuita mediante ombreggiamento con materiale vegetale o stuoie, ben fissati e sospesi su fili di ferro legati a pali lungo le due rive più lunghe (detto materiale dovrà essere rimosso all'inizio delle piogge e reinstallato alla fine). Per l'impermeabilizzazione, se il terreno non è argilloso dovrà essere sistemato con argilla o argilla e pietrame, o alla peggior con tela plastica sotto a uno strato di sabbia; i bordi dovranno essere rivestiti contro gli smottamenti cogli stessi mezzi usati nei pozzi tradizionali in

⁹ La Direz. Gen. dello Sviluppo della Commissione Europea (Div. Progetti Idraulici) ha da tempo adottato il sistema di responsabilizzare interamente i villaggi per la manutenzione dei pozzi fornendo nel quadro dei progetti sia la formazione che la dotazione di attrezzi e parti di ricambio delle pompe. La formula ha avuto successo e questa politica è ora seguita dalla Banca Mondiale e dagli aiuti bilaterali francese e tedesco.

terreni teneri (2.1.). Il bacino dovrà essere recintato con siepe spinosa ed avrà un solo accesso sistemato con pietrame e ramaglia, chiudibile, onde poter condurre il bestiame all'abbeverata sotto controllo.

Queste soluzioni, in mancanza di altra fornitura di acqua non potabile, sono suggerite dall'osservazione sul terreno: un numero enorme di villaggi utilizza acqua piovana di pozze naturali sia per l'abbeveraggio delle bestie che per il bucato, un'acqua sempre sporca che si prosciuga durante i primi 2-4 mesi della stagione secca.

2.5. *Politica di idraulica di villaggio*

La triste realtà è che ancora oggi, a 12 anni dalla grande siccità, il Sahel avrebbe bisogno di circa 25.000 pozzi di villaggio moderni, mentre non crediamo che il numero arrivi a 5000¹⁰. Si può quindi calcolare che i 4/5 dei villaggi e delle popolazioni rurali non dispongano ancora di una fornitura idrica sicura alla fine della stagione secca e comunque di qualità igienicamente passabile: ecco che così la mortalità infantile (dato OMS) è del 150-200 per mille da 0 a 1 anno, e del 60 per mille da 1 a 5 anni (Europa 10 per mille). Quantitativamente molti villaggi dispongono di soli 15 giornalieri a testa, il che non copre adeguatamente neppure i bisogni vitali per bere e uso di cucina.

Vediamo ora a quale ritmo si procede nel soddisfacimento di questi bisogni vitali. Nel quadriennio 1975-1978 per l'insieme del Mali dove vi erano 7000 villaggi privi di pozzo moderno ne sono stati costruiti 585 (146 all'anno); per l'insieme del Niger, su 8000 pozzi necessari, ne sono stati costruiti 771. Secondo una stima compiuta nel 1982¹¹ in 5 paesi saheliani (Senegal, Mauritania, Mali, Burkina Fasso, Niger) su 53.700 villaggi solo 18.575 avevano un pozzo moderno, e la maggioranza di questi era evidentemente in zona sudanese. Tutto ciò si spiega molto bene se si considera la quota del totale degli aiuti internazionali che è andata all'acqua per le popolazioni: nel quinquennio 1975-1979¹², su impegni di aiuti per 6050 milioni di \$, solo 205 milioni sono andati alle forniture idriche per le popolazioni (e di questi il 60% alle scarse popolazioni urbane e il 40% alle grandi masse rurali); nel quinquennio 1978-1982, per il quale il bilancio distingue le forniture urbane dalle rurali, la parte di queste ultime sul totale dei finanziamenti è stata dell'1,4%¹³.

¹⁰ CILSS/OCDE/Club del Sahel — *Développement de l'Hydraulique Villageoise dans le Sahel — Bilan et perspectives*; V Conferenza del Club del Sahel, Bruxelles, 26-28 ottobre 1983. Il CILSS valuta le necessità in 60.000-70.000 pozzi, quantitativo che sarebbe soddisfatto solo per il 25-30%; ma i calcoli di questo organismo, come si sa, riguardano non il Sahel vero e proprio, ma l'intera estensione di 8 paesi di cui 2 non sono saheliani (Gambia e Capo Verde), mentre di 2 altri paesi saheliani non si tiene conto (Sudan, Etiopia); poiché inoltre la maggioranza delle opere è in zona sudanese, la nostra ipotesi di una percentuale di bisogni soddisfatti del 20% appare ottimistica.

¹¹ CILSS/OCDE/Club del Sahel, *op. cit.*

¹² CILSS/OCDE/Club del Sahel, *Un premier bilan de la lutte contre la sécheresse et de l'action pour le développement du Sahel - 1975-1979*, sett. 1980.

¹³ CILSS/OCDE/Club del Sahel, *Développement de l'Hydraulique Villageoise dans le Sahel - Bilan et perspectives* (1983).

Ma non basta. Bisogna vedere che cosa si propone da parte del CILSS e del Club del Sahel per il raggiungimento degli obiettivi in materia di idraulica di villaggio: rafforzamento dei servizi nazionali, ossia in pratica della burocrazia idraulica; migliore conoscenza delle falde, ossia in pratica aumento della burocrazia geologica; incremento dei fondi di bilancio e delle attrezzature di manutenzione dei pozzi e di estrazione dell'acqua; formazione di tecnici idraulici a tutti i livelli, ossia ancora burocrazia, corsi, borse di studio. Abbiamo in sostanza una efficiente applicazione della Legge di Parkinson: non aumento di pozzi, ma aumento di personale. Si aggiunge che, data la misura dei bisogni, va incoraggiato il ricorso alle imprese private accanto a quelle statali e parastatali. Solo di sfuggita si accenna infine all'idea che « la partecipazione delle popolazioni all'esecuzione e alla manutenzione delle opere e dei materiali deve essere presa in considerazione quando possibile » (in termini burocratici ciò significa mai). Come si vede, l'ordine di priorità dei provvedimenti è totalmente capovolto.

Ecco dunque quanto si è fatto e si fa per la 'difesa del Sahel dalla siccità' in relazione al primo bisogno dell'uomo che è quello di acqua. Ecco come gli aiuti internazionali provvedono al 'problema della sete' nel Sahel che viene prima di quello della fame!

In relazione all'acqua nel quadro della 'qualità della vita' una politica corretta non può prescindere dai principi seguenti:

- A. Si deve accettare l'idea che l'acqua è il primo elemento della sopravvivenza fisica e della salute. In qualsiasi società è la prima cosa che si deve provvedere. Di fronte ad essa non vi è nessuna preoccupazione politica o interesse amministrativo che tenga, nessuna strada, nessuna coltura, nessun ospedale o scuola. In un documento del CILSS sulla strategia ¹⁴, accennandosi ai benefici effetti dell'acqua sulla salute della popolazione, si aggiunge « È da augurarsi che essa ne abbia anche sulla produzione e che la creazione di un nuovo punto d'acqua sia coordinato col lancio di un'operazione di orticoltura... ». No! Anche se i benefici effetti sulla produzione non mancheranno, non si richiedono contropartite per la fornitura di acqua!
- B. Una volta riconosciuto questo principio bisogna imporsi l'obiettivo di assicurare la fornitura idrica a tutti i villaggi del Sahel che ne siano privi, dall'Atlantico al Mar Rosso, sia pure con la formula tecnica più semplice.
- C. Il primo punto di riferimento, anzi l'unico, per ogni progettazione deve essere l'opinione degli anziani e dei capifamiglia dei villaggi interessati, per i seguenti motivi:
 - di fatto i pozzi moderni non sono automaticamente preferiti a quelli tradizionali e talora vengono utilizzati solo una parte dell'anno, quando i secondi si prosciugano;
 - spesso manca la consapevolezza del rapporto fra il pozzo moderno e la qualità dell'acqua, e fra quest'ultima e la salute;

¹⁴ CILSS/Club del Sahel, *Stratégie de lutte contre la sécheresse et le développement dans le Sahel*, Projet de version révisé, sett. 1980.

- i pozzi moderni sono apprezzati per la loro maggiore portata e longevità;
 - se la qualità dell'acqua ha in genere poco peso, molto ne ha la distanza del pozzo dal villaggio (se il pozzo tradizionale è più vicino si continua a preferirlo);
 - neppure la pompa a mano o a piede è un fatto decisivo per stabilire le preferenze perché non vi è grande differenza nello sforzo fisico di estrazione;
 - il 'gusto' dell'acqua del pozzo tradizionale è in genere preferito tanto da indurre a percorrere una maggiore distanza per avere l'acqua cui si è abituati (è noto che le abitudini alimentari sono l'elemento culturale più lento a modificarsi);
 - se il pozzo moderno è costruito su un terreno considerato sacro e colpito da interdetto non sarà mai usato (è successo);
 - se la manutenzione del pozzo moderno viene trascurata, esso sarà abbandonato per sempre;
 - nel complesso si nota che: a) il consumo di acqua aumenta per l'effetto dei due fattori congiunti della minore distanza di accesso e della qualità dell'acqua; b) la migliore qualità dell'acqua considerata isolamento non ha alcun effetto sul livello di consumo; c) la riduzione della distanza deve essere considerevole (1-2 km); d) una riduzione insignificante (meno di 1 km) non influenza il livello di consumo.
- D. Bisogna tener conto delle deformazioni che possono aversi in un programma di investimento per ragioni politiche (scelta delle località) o tecnocratiche (scelta del tipo di opere e di attrezzature). Spesso i promotori rischiano di restare accecati dal numero delle opere da realizzare senza considerazione per i bisogni reali (si costruiscono allora pozzi che non saranno usati), o tenderanno ad attribuire troppa importanza al costo medio delle opere, o a un livello massimo teorico predeterminato (si lascia senz'acqua dove costa troppo).
- E. È necessario associare le popolazioni dei villaggi, oltre che alle decisioni, anche all'esecuzione dei lavori e alla manutenzione corrente delle opere, utilizzando i loro pozzaiooli; ciò anche se i lavori dovessero prendere un tempo maggiore, e malgrado le gelosie della burocrazia per questa partecipazione popolare. In tema di partecipazione va tenuto conto di certe esigenze sia psicologiche che materiali degli interessati:
- in una certa regione può essere difficile ottenere questa partecipazione gratuita ai lavori se viene richiesta solo in alcuni villaggi e non in tutti;
 - resistenze legittime possono manifestarsi contro l'utilizzazione delle opere da parte di chi non ha partecipato gratuitamente ai lavori (per es. pastori nomadi);
 - se il villaggio attinge acqua in un corso d'acqua perenne e si pone solo una questione di qualità, può non ravvedersi la necessità della faticata dei lavori che sarà invece bene accettata per risolvere un problema di quantità d'acqua;
 - la partecipazione ai lavori in un abitato disperso sarà più difficile da realizzare che in un abitato concentrato;
 - la popolazione è solo disponibile durante la stagione morta delle attività agricole;
 - vi è riluttanza a lavorare a profondità superiori ai m 60.

In conclusione: nessuna considerazione di costo delle opere o di redditività interna o esterna degli investimenti; con una frazione minima (forse il 25%) degli

aiuti internazionali destinati al Sahel in 5 anni si assicura l'acqua a tutti i villaggi dall'Atlantico al Mar Rosso; non facendolo questi fondi saranno in ogni caso spesi in interventi 'umanitari' in occasione della prossima siccità; ai tecnici ed esperti finanziari, occidentali e africani, che non fossero d'accordo con questa politica bisognerebbe tagliare l'acqua a casa loro.

3. Idraulica pastorale

3.1. *L'idraulica pastorale tradizionale*

I pastori hanno scoperto da secoli e per conto proprio i grandi principi che permettono a essi e al loro bestiame di vivere nelle regioni aride.

A seconda delle rare e irregolari piogge bisogna cercare di raggiungere, anche per grandi distanze e al momento giusto, le erbe che si sono formate. Questo nomadismo può avere carattere permanente con spostamenti periodici degli accampamenti in località dove c'è l'acqua. Più spesso invece, durante la stagione secca, è l'esistenza di un punto d'acqua permanente che determina la concentrazione delle mandrie in una data zona. Durante queste soste obbligate la pratica nomade può persistere ma limitando gli spostamenti all'interno del perimetro di pascoli sfruttabile a partire da quel punto d'acqua. Questo è in genere il caso dei pastori che frequentano i pascoli situati a nord del limite della coltura del miglio (isoieta dei 250 mm): è il caso dei Touareg del Gourma maliano (tribù Kel Antassar e Kel Serere) che frequentano le grandi pozze perenni di Gossi, Doro e In Tillit, e di certe tribù Peul (Kel Goddji, N'Daki); è parimenti il caso dei Warag Warag sul Beli (corso d'acqua al confine maliano-burkinabé) e dei Ouolimiden che frequentano la pozza di Anderamboukane.

Quando invece il punto d'acqua permanente è situato nella zona dove si può coltivare il miglio, si assiste alla nascita di una pratica semi-nomade o di sedentarizzazione parziale: il punto d'acqua è frequentato durante la stagione secca, ma nei suoi pressi, durante la stagione delle piogge, si coltivano campi di miglio. È il caso del Peul Gaobé, a nord dell'Oudalam burkinabé, e il sistema è quanto mai interessante nella sua complessa elaborazione. Durante la stagione secca l'accampamento è presso la grande pozza di Yomboli, su una grande duna dove il bestiame si raccoglie di notte; mano mano che si ritira il livello dell'acqua della conca, le mandrie pascolano sulla corona di prato spuntata dopo il deflusso e sulle paglie delle dune; al prosciugamento totale della conca vengono scavati piccoli pozzi temporanei sul suo fondo; alla prima pioggia l'accampamento si trasferisce a breve distanza dalla duna dove, approfittando del concime organico depositatosi dalle mandrie nel frattempo, si pianta il miglio. Quando il miglio ha preso bene e le piogge diventano più regolari (agosto) le famiglie si scindono: le coppie anziane e i bambini piccoli restano sul posto a sorvegliare i campi di miglio e a fare il raccolto, conservando presso di sé le vacche con latte e i vitelli, mentre le coppie adulte e gli adolescenti partono con le mandrie per il nord verso la pozza di Darkoy (estremo NE burkinabé) facendo molte deviazioni secondo i pascoli propizi; dopo di che continuano ancora verso nord senza però allontanarsi a più di 60 km dalla

pozza di Yomboli; in ottobre tornano verso sud e in gennaio raggiungono nuovamente Yomboli dove le famiglie si riuniscono; ristabiliscono l'accampamento sulla grande duna iniziando un nuovo ciclo annuale.

Se si eccettuano i Touareg e i Peul Bororo che non coltivano mai, la maggioranza dei pastori saheliani cerca di produrre un po' di miglio per darsi una parziale autonomia alimentare. Al limite i punti d'acqua permanenti possono portare a una vera e propria sedentarizzazione: sulle rive dei grandi fiumi (Senegal, Niger), dove prevalgono le attività agricole, la pastorizia si esercita sotto forma di transumanza annuale con ritorni periodici alle rive del fiume dove le mandrie, al deflusso delle acque di inondazione, possono pascolare il 'bourgou' (*Echinochloa stagnina*).

Quali che siano le pratiche, nomade, semi-nomade o sedentaria, la tecnica tradizionale permette a tutte le tribù, anche appartenenti a gruppi etnici diversi, di sfruttare pascoli abbastanza ben delimitati. Se i punti d'acqua sono costituiti da pozzi tradizionali, la situazione è del tutto analoga: a nord i nomadi che non coltivano, a sud i semi-nomadi che piantano il miglio nei pressi del pozzo della tribù. Esempio: i Peul Kreda del Kanem (Ciad), che fanno un percorso inverso, coltivano i campi sulle dune nella zona della pista Moussoro-Zigüey, scendono a sud sul pianoro del Harr durante la stagione calda (marzo), continuano a sud per incontrare le prime piogge sulla piana argillosa di Aka (giugno), ritornano a nord assieme alle piogge (luglio), riattraversano il Harr, e sul Bahr-el-Ghazal le famiglie si separano: anziani, donne e bambini restano con le mandrie che dispongono di sufficiente acqua e pascolo, mentre gli uomini vanno a nord, alla loro duna, a coltivare il miglio; in ottobre o novembre il Bahr-el-Ghazal si prosciuga e tutti si ritrovano sulle dune fra Moussoro e Zigüey intorno ai propri pozzi permanenti; il bestiame pascola sulle dune le canne di miglio e concima il terreno per l'anno successivo. A marzo ricomincia un nuovo ciclo su un percorso di transumanza di oltre 100 km. I pozzi tradizionali appartengono alla tribù che li ha scavati e così i pascoli che li circondano. In ogni tribù si crea una responsabilità nei riguardi del suo itinerario di transumanza: se vi è sovrappascolo è la tribù stessa che dovrà subirne le conseguenze. Vi è un notevole equilibrio fra mandrie e pascoli perché questi Peul sembrano avere una sana nozione della conservazione delle risorse naturali.

L'idraulica pastorale tradizionale si fonda quindi non tanto sui grandi fiumi, che nel Sahel sono rari, quanto sulle pozze d'acqua di superficie ('mares') che sono numerose durante la stagione delle piogge perché qualsiasi bassofondo argilloso o conca arenacea o basaltica costituisce un abbeveratoio, anche considerando che il bestiame beve meno quando le erbe sono fresche. A partire da ottobre però il prosciugamento graduale di queste riserve idriche obbliga i pastori a scavare pozzi temporanei in falde non troppo profonde (qualche metro) o pozzi permanenti (m 25-50, ma ve ne sono anche di m 100), opere eseguite da 2-3 pozzaioli con tecniche che non variano da secoli. I mezzi tradizionali di attingimento dell'acqua sono in genere il 'délou', ghirba in pelle di capra o montone da 20-25 l parzialmente conciata, montata su un'armatura in legno e appesa a una corda di foglie di palma o di scorza di Baobab; a volte si usa un tronco in legno terminante a forcilla che regge una sommaria puleggia (sezione corta di tronco), così che l'eduazione può essere fatta per trazione da un bue, cammello o asino.

Ci siamo soffermati su queste notizie per mettere in evidenza che le tecniche tradizionali di pastorizia sono molto elaborate e che bisogna quindi fare attenzione nei progetti di idraulica pastorale a non guastare ciò che funziona bene, ma eventualmente a migliorarlo in stretta consultazione con i pastori stessi.

3.2. *Funzione dell'idraulica pastorale*

La funzione è quella di assicurare l'abbeveraggio delle mandrie almeno ogni due giorni nel complesso quadro degli itinerari abitualmente seguiti nel nomadismo o nella grande e piccola transumanza; ciò al fine di sfruttare nelle migliori condizioni possibili e su grandi estensioni dei pascoli la cui consistenza è molto variabile sia nel tempo che nello spazio. In secondo luogo è quella di estendere lo sfruttamento a buoni pascoli situati in zone non accessibili appunto per la mancanza di punti d'acqua. Non si deve mai dimenticare che questi pascoli poveri mantengono nonostante tutto 22 milioni di bovini, 2 milioni di cammelli, 40 milioni di ovini e caprini e 1 milione di cavalli in un continente a corto di carne e dove vaste zone tropicali ed equatoriali sono poco propizie all'allevamento a causa della mosca tze-tze.

L'idraulica pastorale è completamente diversa da quella di villaggio per le quantità d'acqua richieste, per la distribuzione e le caratteristiche dei punti di abbeveraggio, per la mobilità delle mandrie e degli accampamenti. Anche nei casi di sedentarizzazione di gruppi pastorali, che come abbiamo visto rappresenta una eccezione (Toucouleur del fiume Senegal), la fornitura idrica è calcolata sui bisogni delle mandrie (pozzo o perforazione pastorale) e i pastori utilizzeranno la medesima acqua.

La quantità d'acqua giornalmente necessaria è per un bovino UBT (Unità Bestiame Tropicale di kg 250) di 1 30 nella stagione calda (1 40 se è abbeverato ogni 2 giorni come è generalmente il caso), 1 20 nella stagione fresca e 1 15 in quella delle piogge; per gli ovini e i caprini è rispettivamente di 1 5, 3 e 2; per i cammelli di 1 40, 25 e 15 (ma i cammelli possono stare anche 8 giorni senza bere e poi assorbire 1 100 alla prima abbeverata). Di conseguenza un grande pozzo trivellato come quello di Abalak (NE di Tahoua in Niger), dove si abbeverano giornalmente 8000 bovini, 8000 caprini e ovini e 2000 cammelli, deve avere nella stagione calda una portata di 360 m³/g o 30 m³/h.

Per la qualità è importante che l'acqua sia a bassa mineralizzazione (possibilmente meno di 0,5 gr/l), ma non deve nemmeno essere carente in minerali (specie iodio, calcio, fosforo e fluoro). Può essere non potabile per gli uomini, come lo sono le acque di superficie, ma non comunque acqua stagnante da tempo e contenente una rilevante flora batterica e parassitaria. I pastori bevono l'acqua dei pozzi e delle perforazioni e negli spostamenti si portano dietro scorte in borracce e otri a basto.

3.3. *Programmazione*

La programmazione dell'idraulica pastorale è estremamente complessa perché deve tener conto di fattori numerosi, di assai diversa natura e spesso fra loro

contraddittori, per cui deve essere realizzata in un sottile gioco di priorità, disponibilità, carenze e compromessi. Elenchiamo questi fattori con note di massima:

- a. Localizzazione e produttività delle falde acquifere. Queste sono note nelle loro grandi linee (1.), ma spesso si richiedono prospezioni di dettaglio specie per le falde discontinue.
- b. Localizzazione, numero e tipo dei pozzi tradizionali, pozzi cementati e perforazioni esistenti, perché certi pozzi tradizionali sono perfettamente efficienti.
- c. Localizzazione e caratteristiche delle acque di superficie. Oltre ai fiumi e laghi permanenti, in particolare la capacità idrica e la durata prima del prosciugamento di pozze ('mares'), bassifondi, bacini collettori di acque di ruscellamento, conche endoreiche, 'guelta', corsi d'acqua stagionali (oued, dallol, wadi).
- d. Localizzazione, tipo e caratteristiche delle opere da costruire, modificare o migliorare: tipo di pozzo o perforazione e lavori di sistemazione degli specchi di superficie, per ritardarne il prosciugamento o migliorarne le condizioni sanitarie.
- e. Topografia e qualità dei pascoli (cap. X, 2.): lo studio agrostologico va compiuto sul terreno per le zone non cartografate.
- f. Itinerari di nomadismo e transumanza nei vari tempi dell'anno: sono in genere ben noti in ogni regione.
- g. Numero e consistenza delle mandrie: si tratta di fare una stima attuale perché questi dati sono legati alla politica zootecnica (cap. X, 4.).
- h. Ripartizione tradizionale dei pascoli fra tribù e proprietà dei pozzi tradizionali: ciò al fine di evitare futuri conflitti.
- i. Tecniche di pastorizia utilizzate secondo i gruppi etnici, struttura sociale dei gruppi pastorali (nomadi, transumanti, semisedentarizzati o sedentarizzati); costumi. È soprattutto importante sondare opinioni e preferenze per evitare il rischio di investimenti in opere destinate a restare inutilizzate (3.5.).
- j. Infine distribuzione ottimale dei punti d'acqua (quale che ne sia il tipo) sia nei pascoli che negli itinerari di nomadismo e transumanza: una distribuzione geografica ottimale è quella che consente l'abbeveraggio delle mandrie almeno ogni 2 giorni, il che richiede una distanza massima fra punti d'acqua di 20-30 km, 40-50 km solo nei pascoli che vengono sfruttati durante la stagione fresca; in linea generale un pascolo situato a oltre 40 km da un punto d'acqua non viene utilizzato.

3.4. *Aspetti tecnici e caratteristiche delle opere*

3.4.1. ACQUE SOTTERRANEE

A differenza dell'idraulica di villaggio quella pastorale ha bisogno di falde estese e spesso profonde con grandi portate, come sono in genere gli acquiferi delle formazioni sedimentarie postprimarie e le falde rocciose dei ricoprimenti recenti (2.4.1./c.). In linea di massima possiamo considerare eccellente una portata di 5 m³/h, media una di 1,8-3,6 m³/h, insufficiente una al disotto di 1 m³/h, ma a volte bisogna accontentarsi.

Le opere tipiche per uso pastorale sono le seguenti:

A. Perforazione con pozzo cisterna

- *Condizioni*: falda artesiania; formazioni sufficientemente tenere; profondità della trivellazione fino a m 400 e del contropozzo fino a m 80; livello di eduazione a mano a meno di m 80; quando la falda è artesiania è il tipo di manufatto più diffuso.
- *Geologia*: sistemi acquiferi plurifalde.
- *Tecnica*: rotary a fango (variante: percussione a cavo); trivellazione con tubo di captazione in acciaio inossidabile con fori di mm 0,25 e con intorno ghiaia di quarzo per uno spessore di m 5 e per una altezza di m 5-10 al disopra della sezione captante; contro-pozzo (o pozzo-cisterna) con rivestimento classico in cemento, ovviamente senza tubo captante, comunicante con la perforazione per condotta trasversale; quando possibile, per evitare la condotta, si può costruire dapprima il pozzo-cisterna fino a m 5 al disopra del livello statico e poi affondare il pozzo nel suo interno, con economia di vari metri di perforazione e una alimentazione diretta del contro-pozzo. Diametri: nella perforazione variabile a seconda della profondità, nel contro-pozzo di regola m 1,80.
- *Estrazione dell'acqua*: tradizionale con ghirbe a mano o per trazione animale mediante 8 doppie pulegge in legno o ferro montate su traliccio in tubi di acciaio.
- *Costo indicativo* (1984): perforazione Lire 800.000-1.100.000 al m lineare.

B. Perforazione in roccia dura per falda profonda

- *Condizioni*: falda a oltre m 50 in roccia dura; profondità m 100-150, possibile fino a m 250.
- *Geologia*: basalti, rocce carbonatiche, basamento granitico con livello profondo (caso raro); in pratica tutte le falde discontinue a forte permeabilità.
- *Tecnica*: rotary ad aria compressa con martello di fondo a bassa pressione fino a m 120 (compressore di 20.000 l/mn a 10 bar), con martello ad alta pressione fino a m 250 (20.000 l/mn a 18 bar); velocità di perforazione 5-10 m/h; variante possibile percussore a cavo. Diametri: tubazione di 6" (8" in testa), tubo captante di 4,5".
- *Estrazione dell'acqua*: motopompa immersa di diametro 93 mm con portata di 5 m³/h ad altezza manometrica di m 120 (limite m 150); idropompa per maggiori profondità.
- *Costo indicativa* (1984): perforazione Lire 320.000 al m lineare; pompa, gruppo elettrogeno e serbatoio Lire 28.000.000.

C. Perforazione 'tipo sedimentario'

- *Condizioni*: falda libera o artesiania con livello di equilibrio oltre m 50; profondità m 400 e oltre (m 800 raggiunti in Niger).
- *Geologia*: sabbie, argille, arenarie e calcari teneri, specie falde rocciose di ricoprimento e piani superiori dei grandi bacini sedimentari.
- *Tecnica*: percussore a cavo o rotary a fango; variante possibile rotary ad aria compressa (più rapido se la tenuta del terreno lo consente). Tempo: m 50-80 in 5-10 giorni. Diametri: tubazione 6-12", tubo captante 4-6" (in genere metallico oltre i m 100).

- Estrazione dell'acqua: motopompa immersa o idropompa come sopra.
- Costo indicativo (1984): Lire 920.000 al m lineare (per essere redditizio la portata deve raggiungere i 20-50 m³/h).

D. Soluzioni a carattere meno frequente

È evidente che in presenza di falde libere di buona produttività in arenarie o scisti teneri, sabbie consolidate, alteriti, a meno di m 80, caso molto frequente, il 'pozzo a mano con estrazione tradizionale' (2.4./a) può fare ottimamente anche per l'idraulica pastorale e ad assai minor costo. Può anche essere il caso, se non necessitano grandi portate, di opere a profondità inferiori ai m 50 quali la perforazione 'tipo basamento' (2.4./c) e la perforazione in 'terreno tenero' (2.4./d), sempre con estrazione a mano.

I pozzi cementati e le perforazioni con contropozzo hanno come strutture di superficie un piano circolare in cemento intorno al parapetto con 4 o 6 scanalature conducenti ad altrettanti abbeveratoi (da installarsi il più lontano possibile, almeno vari metri); sul parapetto un traliccio in tubi di acciaio, quadrangolare, con 2 pulegge doppie su ogni lato su perno trasversale, o 6 tralicci separati con relative pulegge. Le perforazioni con pompaggio meccanico hanno invece un serbatoio sopraelevato con tubazioni e rubinetti sugli abbeveratoi.

Quando l'estrazione è per trazione animale (pozzi e perforazioni con pozzo cisterna) gli animali issano allontanandosi dal pozzo in successione circolare (cammelli, bovini, talvolta montati da bambini); un uomo presso il pozzo impiega il tempo di trazione degli altri animali per vuotare il 'délou', che è stato issato, nell'abbeveratoio e risistamarlo per la discesa. Con un livello d'acqua a m 40 il tempo di estrazione di un ghirba (20-25 l) è di 5',20" (risalita della ghirba 50", vuotamento in superficie 3', ridiscesa 30", riempimento 1').

Il grande problema tecnico che si pone in materia di eduazione è quello di eliminare l'energia convezionale (motopompe e idropompe con gruppo elettrogeno a Diesel) in tutti i pozzi dove l'estrazione per trazione animale non è possibile. Ciò in quanto nelle località isolate e prive di comunicazioni, come sono in genere quelle delle trivellazioni pastorali, il problema della manutenzione delle pompe e dei motori, come quello del rifornimento di combustibile, lubrificanti e parti di ricambio si rivela quasi ovunque insuperabile. Ma per procedere a questa eliminazione è necessario progredire ulteriormente nelle applicazioni dell'energia solare ed eolica accoppiate (cap. XIII).

Quanto all'altro problema della manutenzione corrente, le difficoltà segnalate per l'idraulica di villaggio (2.4.1.) si ritrovano enormemente moltiplicate, sia per la complessità tecnica delle opere che per il loro isolamento. A ciò si aggiunga che la percezione di canoni di manutenzione è impossibile in ambiente nomade e che i riflessi economici della mancata manutenzione sono molto più rilevanti. Nelle perforazioni con contropozzo può essere questione di insabbiamento del fondo, di lesione o distruzione della tubazione inferiore per effetto degli urti dei 'délou', di crollo del rivestimento non eseguito a regola d'arte, di cadute di portata derivanti dai caratteri particolari di certe formazioni (diminuita permeabilità dei calcari per

la presenza di sabbie, argille, scisti o per l'andamento delle fessurazioni), di falde montonate in formazioni calcaree, di infiltrazioni dalle sovrastrutture. Nelle perforazioni, malgrado la tecnica sofisticata di queste opere, possono eccezionalmente verificarsi fenomeni di insabbiamento dovuti alla velocità di circolazione idrica nel filtro ghiaioso, o complessi processi chimici di dissoluzione di calcari, sali di ferro o manganese, carbonati, che producono incrostazioni sulle superfici metalliche nel tubo captante o di quello di sollevamento o della pompa. A seconda dei casi si dovrà procedere alla pulitura del fondo, all'ispessimento del filtro, a un approfondimento del pozzo, alla frantumazione con dinamite dei calcari, alla riparazione del rivestimento o del tubo captante. La manutenzione delle perforazioni pastorali non può che essere devoluta ai servizi idraulici delle pubbliche amministrazioni e costituirne un impegno primario.

3.4.2. ACQUE DI SUPERFICIE

Nulla da dire circa acque di superficie quali fiumi e laghi permanenti che offrono sempre punti di abbeveraggio sicuri in ogni stagione anche in fase di magra. Resta intero invece il problema delle acque non permanenti e soggette a prosciugamento durante la stagione secca. Abbiamo visto che si tratta di qualsiasi depressione capace di raccogliere acqua piovana diretta o di ruscellamento grazie alla impermeabilità del fondo: pozze grandi e piccole di ogni genere ('mares'), bassifondi, conche endoreiche, vasche naturali scavate nella roccia ('guelta'). Non si formano 'mares' nelle sabbie degli erg, né in suoli argillosi con pronunciate fessure di riduzione, ma sono frequenti e numerose sui suoli limosi e argillosi. Se la 'mare' è in comunicazione con la falda freatica superficiale può non prosciugarsi mai fino alla stagione piovosa successiva, ma le 'mares' permanenti sono l'eccezione. Di regola si prosciugano più o meno rapidamente a seguito di evaporazione, infiltrazione e volume di abbeveraggio, in un tempo che può andare da un mese (novembre) a 5 (novembre-marzo).

Il secondo grave inconveniente di questi stagni temporanei, dopo la loro breve durata, è l'attitudine a trasformarsi, per via del calpestio e delle feci degli animali, in brodi di coltura batterica e parassitaria, fonte di numerose epizootie. Ciò malgrado rappresentano un insostituibile complemento delle acque sotterranee, specie nelle zone idrologicamente sterili o di insufficiente produttività dove si impone l'economia dell'acqua di falda. L'utilizzazione razionale delle acque di superficie è stata peraltro sempre trascurata, in realtà praticamente ignorata come problema, sia dagli aiuti internazionali che dalle amministrazioni locali, forse perché le relative soluzioni sono troppo semplici, troppo poco costose e non confacenti a una tecnica moderna fondata sul profitto e il consumismo.

I due inconvenienti lamentati possono essere in parte superati mediante opportune tecniche: si tratta infatti di prolungare la durata di utilizzazione di queste acque, al limite fino alla stagione piovosa successiva rendendole permanenti, e di migliorare le condizioni sanitarie dell'abbeveraggio:

- a. Evaporazione. L'evaporazione media è di 5,4-6,8 mm/g con punte di 15 mm/g, nel complesso m 2-2,50 all'anno. Essa può essere diminuita anzitutto riducendo la superficie dello specchio d'acqua mediante approfondimento del fondo per scavo e

reinterro dei bordi; in secondo luogo mediante piantagione di ninfacee, piante acquatiche a foglie larghe distese sul filo dell'acqua ('*Nymphaea alba*', '*Nymphaea lotus*', '*Nuphar luteum*'); e infine mediante piantagione fitta di Acacie sopravento all'eliseo di NE (la corrente d'aria aumenta l'evaporazione). Non è invece consigliabile l'uso di film monomolecolari di liquidi apolari (alcool saturati a catena lunga), né l'uso di perle di polistirene, perché questi prodotti vengono spostati dal vento e accumulati in una sezione ristretta dello specchio. Lo scavo può essere fatto senza rischi se il suolo è limoso o argilloso; se questo non è il caso e se l'impermeabilità è dovuta a una colmataura progressiva ben consolidata, lo scavo può farsi solo in presenza di una falda freatica superficiale sottostante.

- b. Infiltrazione. Se l'impermeabilità del fondo è difettosa, conviene ricoprirla, alla fine della stagione secca, con apporti di argilla e/o pietrame se sono disponibili nelle vicinanze; un sistema costoso ma decisivo è quello di stendere sul fondo un telone plastico in bande saldate e ricoprendolo di terra; un sistema che andrebbe tuttavia sperimentato è quello dello spandimento di catrame per annaffiamento in strato uniforme da ricoprirsì poi di terra.
- c. Igiene dell'abbeveraggio. Recinzione del bacino con siepe di spinosi lasciando l'accesso in un settore limitato, in pendenza fino al livello di magra, pavimentato con pietrame; meglio ancora, per evitare l'entrata del bestiame nell'acqua, recinzione completa del bacino e scavo di pozzetti di abbeveraggio alla periferia, con adduzione d'acqua per infiltrazione o canaletti o tombini sotterranei in plastica di grande diametro.

Questo per la sistemazione dei bacini naturali. Ma in caso di necessità si possono anche creare bacini artificiali in qualsiasi depressione avente certe caratteristiche: a) un'area versante abbastanza estesa da assicurare un volume idrico sufficiente, considerato il livello pluviometrico minimo della regione; b) la parte terminale a valle di un impluvio collinare o montano o di inselberg dove possono raccogliersi le acque di ruscellamento, eventualmente anche punti in quota nella valle sbarrabili con rotolamento di massi o dighette; c) conca in prossimità di un 'oued' stagionale dal quale si può scavare un canaletto di derivazione; d) scavo nel thalweg di un 'oued' con armatura del bacino creato mediante diga perimetrale in pietre contro l'erosione. Le tecniche possono anche essere più complesse se le esigenze lo impongono: costruzioni in muratura o cemento armato, fosse di decantazione, canalizzazioni di alimentazione e di scarico con tombini in cemento, pavimentazioni e rivestimenti in cemento o pietrame, condotte ad abbeveratoi separati, sifoni, saracinesche, ecc.

La sistemazione di una 'mare' o conca naturale, o la costruzione di un bacino artificiale, si possono prendere in considerazione tutte le volte che si impone un punto di abbeveraggio - a) in una zona idrogeologicamente sterile o con produttività inferiore al minimo richiesto; b) nell'area di un pozzo o perforazione di portata insufficiente o dove è inopportuno aumentare lo sfruttamento della falda; c) in una 'mare' tradizionale di grandi dimensioni e a grande frequentazione ma strutturalmente deteriorata.

Il problema della manutenzione delle 'mares' è ovviamente più semplice di quello dei pozzi e delle perforazioni, sia per la periodicità che per la natura degli interventi.

Estensione, profondità e capienza possono essere molto varie: le 'mares' vere e proprie, che non siano semplici stagni, possono andare da m² 1000 a 3 milioni (quella di Markoy nel Sahel burkinabé misura 600 ha). La capacità in fase di piena può andare da m³ 500 a 4 milioni. Il costo approssimativo di scavo con buldozer in zone isolate può oggi calcolarsi in Lire 8000-9000 al m³ (1984). Esempio di costo di bacino artificiale: capacità totale m³ 85.000, utile m³ 53.000, apertura m 298 x 54, fondo m 250 x 22, profondità m 8; lavori di sterro per Lire 461.736.000 (Lire 8712 al m³); sovrastrutture di alimentazione e presa d'acqua Lire 130-174 milioni; totale Lire 631 milioni (1984)¹⁵. Su una capacità utile di m³ 53.000, circa 25.000 saranno le perdite di evaporazione in 9 mesi; resteranno m³ 28.000 capaci di abbeverare almeno 2600 bovini al giorno per 9 mesi.

3.5. Politica di idraulica pastorale

Nella 'strategia' del CILSS del 1980 si accenna al problema dell'idraulica pastorale esattamente in 7 righe¹⁶ per notare che « una buona organizzazione dello spazio pastorale equivale a una buona ripartizione dei punti d'acqua », ma per il resto il silenzio è assoluto su questo argomento fondamentale. Nell'ultimo documento del 1983¹⁷ non se ne accenna affatto.

Se poi vediamo il consuntivo degli impegni finanziari degli aiuti internazionali per il quinquennio 1975-1979¹⁸ troviamo che l'idraulica pastorale è compresa nel capitolo « Allevamento » per il quale figurano 188 milioni di \$, equivalenti al 3,1% degli aiuti totali ai paesi del Sahel, e al 4,8% degli aiuti ai progetti. Se guardiamo al consuntivo di un settennio (1975-1981) nell'ultimo documento¹⁹, all'Allevamento è andato il 2,5% del totale degli aiuti e il 3,9% degli aiuti ai progetti. In questi documenti non si leggono parole come 'perforazione', 'mare', il che è un po' strano per un'istituzione che ha per fine la 'difesa' e lo 'sviluppo' del Sahel dalla siccità.

L'elaborazione di una politica di idraulica pastorale è impresa ancora più delicata e complessa di quanto non sia nel caso dell'idraulica di villaggio per via della categoria sociale che coinvolge, i pastori nomadi e transumanti, ambiente poco conosciuto, incontrollabile per la sua mobilità e molto chiuso. Un programma di pozzi e perforazioni non sufficientemente studiato in lunghe palabre coi notabili delle varie tribù può condurre a risultati negativi. È un argomento che ha fatto scorrere fiumi di inchiostro e nel quale si sono talora sentite avanzare tesi paradossali come quella che le perforazioni rovinano i pascoli e che quindi non si devono fare. In realtà non sono le perforazioni che rovinano i pascoli ma un'errata politica di idraulica pastorale; la degradazione o scomparsa del tappeto erboso per

¹⁵ BRGM/IEMVT, *Techniques rurales en Afrique - Hydraulique pastorale*, 1969, a cura del Segretariato di Stato per la Cooperazione (Parigi).

¹⁶ CILSS, *Stratégie de lutte contre la sécheresse*, ecc., settembre 1980, p. 54.

¹⁷ CILSS/OCDE/Club del Sahel, *Lutte contro la sécheresse et développement dans le Sahel*, luglio 1983, presentato alla V conferenza del Club del Sahel, 26-28 ottobre 1983.

¹⁸ CILSS/OCDE/Club del Sahel, *Un premier bilan de la lutte contre la sécheresse*, ecc., settembre 1980.

¹⁹ Vedi n. 17.

il transito e la sosta delle mandrie intorno alla perforazione è fenomeno di breve raggio (qualche centinaio di m), perché oltre questo limite la vegetazione viene semplicemente modificata e spesso migliorata dalla concimazione organica. Bisogna quindi fare il punto sul tema più generale delle conseguenze della politica di idraulica pastorale sull'economia dell'allevamento nei suoi vari aspetti positivi e negativi:

A. *Mobilità*. Un punto d'acqua permette uno sfruttamento ottimale dei pascoli della zona circostante, ma può ridurre la mobilità e diminuire o interrompere lo sfruttamento di pascoli più lontani: se si favorisce il sud, i pascoli del nord saranno abbandonati. L'acqua delle perforazioni, più mineralizzata, rende superflue le 'cure salate' (in zone con placche di 'natron', carbonato di sodio idrato) prima necessarie alle mandrie che in stagione piovosa si abbeveravano nelle pozze e mangiavano erba fresca: è un altro motivo che può indurre ad abbandonare i pascoli del nord dotati di depositi di natron. Conclusione: una distribuzione dei punti di acqua deve estendersi a tutti i pascoli in modo equilibrato senza favorire la parte sud del Sahel.

B. *Rapporto pastore-animale*. I pozzi e le perforazioni con estrazione a mano o per trazione animale e con abbeveraggio individuale delle bestie assicurano il mantenimento dell'alto livello tecnico della grande tradizione pastorale, nella quale il pastore conosce alla perfezione ogni singolo capo della sua mandria: in una perforazione con estrazione meccanica per pompaggio gli animali vanno all'abbeveraggio nel disordine mentre i pastori se ne stanno da parte a chiacchierare; essi non conoscono più la loro mandria che come dato collettivo. Conclusione: bisogna evitare l'estrazione meccanica, e circondarla di opportune cautele quando è imposta dalla situazione idrogeologica e meteorologica.

C. *Efficienza del nomadismo Touareg*. La società Touareg è molto gerarchizzata e la sua grande tradizione pastorale riposava sull'uso di schiavi incaricati dell'estrazione dell'acqua dai pozzi; la progressiva emancipazione dei Bella e dei Bouzou ha tolto ai Touareg questa manodopera. Conclusione: contrariamente alla regola generale perforazioni con estrazione meccanica possono rivelarsi utili nell'estremo nord.

D. *Urbanizzazione*. Se non vi è altra soluzione che quella di una perforazione profonda con estrazione meccanica per pompaggio, bisogna evitare una urbanizzazione economicamente non giustificata della zona pastorale (in Niger la perforazione di Tchén Tabaraden è diventata una sottoprefettura, e intorno a quella di In Waggar si è formato un villaggio di commercianti e funzionari con scuola). Conclusione: una perforazione con motopompa o idropompa per uso pastorale e senza altri fini deve tassativamente essere chiusa durante la stagione delle piogge calcolata estensivamente (120 giorni, luglio-ottobre).

E. *Protezione sanitaria*. L'ammassamento di animali intorno a un punto d'acqua importante è un fattore di diffusione delle epizootie, ma al tempo stesso favorisce il controllo sanitario. Conclusione: quando si procede alla creazione di un punto di abbeveraggio a forte capacità (perforazione o grande 'mare') deve essere previsto sul posto un controllo sanitario permanente.

F. *Controllo amministrativo*. Un punto d'acqua importante favorisce il controllo fiscale delle mandrie da parte dell'amministrazione, ma ciò può condurre all'abbandono di esso da parte dei pastori. Conclusione: bisogna che tale controllo non esista o sia molto leggero e discreto, prevalentemente statistico (un prelievo fiscale di modeste proporzioni può essere occultato nel canone per servizi resi).

G. *Pace sociale*. Perforazioni fatte a sproposito possono provocare conflitti e violenze fra tribù appartenenti a gruppi etnici diversi (è il caso delle perforazioni realizzate in Niger nella regione di Tahoua a partire dal 1961: la regione apparteneva ai Touareg Illabakan, ma i Peul risalirono dal sud adducendo il carattere pubblico di quei punti di abbeveraggio, poi confermato da un decreto che restò sempre inapplicabile). Conclusione: qualsiasi programma di idraulica pastorale deve essere preventivamente concordato con tutti i gruppi etnici pastori della regione.

H. *Aspetto quantitativo dei punti d'acqua*. Ascoltando i commenti positivi o negativi dei pastori nei riguardi delle perforazioni di nuova creazione si nota: soddisfazione per l'estrazione meccanica (ma bisogna pensare ai punti 'B' e 'D'); insoddisfazione per le lunghe attese e la mancanza di altro pozzo nell'area circostante; soddisfazione per la presenza di commercianti che permette di vendere bestiame e acquistare generi di prima necessità; insoddisfazione per le distanze da percorrere, per la concentrazione delle mandrie che favorisce i furti di bestiame, perché l'acqua delle perforazioni è troppo calda, perché la presenza dei commercianti fa aumentare le spese... Da tutte queste reazioni spicciole bisogna dedurre le questioni di sostanza: la distribuzione dei punti d'acqua deve tener conto del numero delle opere oltre che della quantità di acqua fornita in una determinata regione in relazione al carico di bestiame. Conclusione: decentramento della fornitura idrica.

I. *Distribuzione dei punti d'acqua in relazione alla politica zootecnica*. (Cap. X, 2.3.1.; 3.1.; 4.3.; 4.5.; 4.6.).

J. *Localizzazione dei punti d'acqua in aree di pascolo povero*. Sebbene, come abbiamo visto, i punti di abbeveraggio importanti non hanno necessariamente effetti deteriori sui pascoli oltre un certo breve raggio, non per questo gli eventuali rischi vanno ignorati. Quando il decentramento di punti d'acqua frequenti non è realizzabile, i pozzi di maggior portata dovrebbero essere installati di preferenza in zone di transito o di pascolo povero intercalate fra pascoli buoni (Fig. 16).

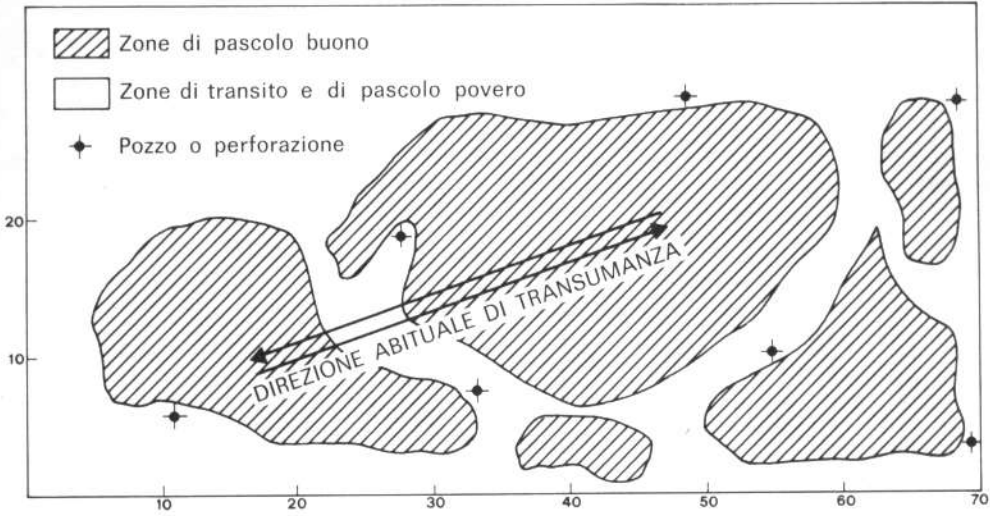


Fig. 16. Distribuzione dei pozzi compatibilmente con le condizioni idrogeologiche, in base alla qualità dei pascoli.