



La costruzione di un geodatabase dalla Carta Idrogeologica del Lesotho (Luigi Simeone - Maggio 2018)

SOMMARIO

Scopo di questo lavoro è di illustrare come i sistemi di informazione geografica possano essere impiegati con successo nella gestione e analisi di dati idrologici e geologici riportati su mappe cartacee. Le mappe compilate prima dell'"era digitale" possono essere risorse importanti di dati scientifici geo-riferiti. Con la tecnologia GIS oggi a disposizione, le vecchie carte possono essere digitalizzate e confrontate con i nuovi dati eventualmente disponibili.

Il lavoro descritto è stato realizzato utilizzando la tecnologia ESRI (ArcMap 9.1) con i dati digitalizzati dalla Carta Idrogeologica del Lesotho e con i dati riportati nella nota tecnica ad essa allegata.

La Carta Idrogeologica del Lesotho - pubblicata nel 1994 da G.Arduino, P.Bono, P.Del Sette e dal Dipartimento per gli Affari Idrici del Regno del Lesotho - è stata compilata con i dati raccolti durante lo svolgimento del Progetto "Groundwater Project" (Progetto "Ricerca Idrogeologica in Lesotho"), finanziato dal Ministero degli Affari Esteri Italiano e dall'Unione Europea e finalizzato al reperimento di fonti d'acqua potabile nelle zone rurali del Paese, spesso mancanti di risorse idriche adeguate. Per molti osservatori, il Groundwater Project è stato un buon esempio di progetto umanitario di sviluppo rurale ma anche di ricerca scientifica e di raccolta di dati da utilizzare per una corretta e sostenibile gestione della risorsa acqua nel Paese. A Dicembre 1993 erano stati perforati 604 pozzi per acqua, di cui 479 produttivi, fornendo approvvigionamento idrico sicuro ad almeno 110.000 persone (circa il 6% della popolazione del Lesotho allora stimata).

I dati raccolti durante gli undici anni di svolgimento del Progetto ed i risultati raggiunti sono stati utili nell'ambito degli studi idrologici effettuati dal "Lesotho Highlands Water Project" (Progetto Acque Montane del Lesotho); un grande progetto trans-frontaliero di gestione delle risorse idriche montane che riguarda il Lesotho ed il Sud-Africa e che è in fase di realizzazione.

1. INTRODUZIONE

Il Regno del Lesotho è un Paese di circa 30.500 Km² situato nell'Africa meridionale, completamente circondato dalla Repubblica del Sud Africa e senza sbocco al mare. È prevalentemente montuoso, con quote che vanno da 1.300 a 3.500 metri s.l.m.. Circa un terzo del territorio è occupato dai Monti Maluti, una zona aspra e remota di difficile accesso, con una scarsa popolazione che vive in piccole e disperse comunità rurali. La parte occidentale è pianeggiante con un'altitudine media di 1400 - 1700 m, un altopiano che si oppone alla catena montuosa dei Maluti, le cui cime raggiungono quasi 3.500 m s.l.m.

A causa della sua posizione geografica (emisfero sud, zona temperata) il Lesotho ha un clima stagionale ben distinto, con temperature miti e calde in estate e temperature fredde in inverno. Le piogge sono concentrate in estate; in inverno il gelo è comune anche nelle zone pianeggianti e nevicate si verificano irregolarmente verso la fine dell'inverno sia nelle pianure che più frequentemente nelle zone montane.

Una delle principali risorse naturali del Paese è la sua acqua e questa importante risorsa è all'origine dello studio di fattibilità di un progetto idroelettrico regionale e transfrontaliero, il Lesotho Highlands Water Project (LHWP) iniziato nel 1983. La prima fase del progetto è stata completata nel 2002 con la costruzione della diga Katse e della diga di Mohale.





Il progetto trasferirà l'acqua dal Lesotho al Sudafrica (provincia di Gauteng). Il sistema fornirà anche energia idroelettrica per soddisfare le esigenze di sviluppo del Lesotho.

La compilazione della carta Idrogeologica del Lesotho è stato l'ultima attività portata avanti dal Groundwater Project ed ha avuto l'obiettivo di facilitare i seguenti compiti (P. Del Sette, G. Arduino):

- Valutazione e corretto sfruttamento delle risorse idriche sotterranee
- Ricerca di nuove sorgenti di acque sotterranee
- Protezione delle falde acquifere da contaminazione
- Fornire dati idrogeologici e spunti tecnici per l'elaborazione di uno studio coordinato di tutte le risorse idriche del Paese nel quadro della preparazione e gestione di un piano generale delle risorse idriche nazionali (Master Plan).

La Carta non è quindi finalizzata a risolvere problemi operativi specifici, che richiederebbero un'indagine su una scala più dettagliata (P. Del Sette, G. Arduino).

2. SVOLGIMENTO DEL LAVORO

Obiettivo principale di questo lavoro è di verificare la capacità del GIS nel gestire una banca dati idrogeologici e di effettuare un breve analisi idrologica all'interno dell'ambiente GIS, con i dati della Carta e utilizzando le funzioni ArcMap. Il lavoro si è svolto nell'arco di sei mesi ed è terminato nel Gennaio 2017 con l'aggiornamento del geodatabase e la digitalizzazione della geologia effettuata ad una scala più dettagliata (25K).

L'attività GIS si è svolta in fasi differenti che si possono riassumere nei seguenti punti:

- Cartografia: Acquisizione della Carta in formato digitale e Georeferenziazione
- Digitalizzazione dei dati geo-idrologici e loro compilazione in un geodatabase
- Analisi Idrologia.

▪ **Cartografia: Acquisizione della Carta in formato digitale e Georeferenziazione**

La versione digitale della Carta Idrogeologica del Lesotho è stata dapprima importata in un progetto ArcMap, quindi è stata geo-referenziata secondo la proiezione geografica riportata sulla Carta, compilata in scala 1:300000. La proiezione è una TM - Clarke 1880 (Modificata) 29 ° Est di Greenwich. Le linee del reticolo geografico riportate sulla mappa sono state utilizzate per georeferenziare la mappa digitale.

La proiezione cartografica memorizzata nella libreria GIS "Cape Clarke UTM 35S" è stata modificata secondo i seguenti parametri:

Nome della proiezione personalizzata: Cape_UTM_hydromapLesotho29centrmerid

Proiezione: Transverse_Mercator

False_Easting: 500000,000000

False_Northing: 10000000,000000

Central_Meridian: 29.000000

Fattore di scala: 0,9999600

Latitude_Of_Origin: 0,000000

Unità lineare: metro

GCS_Cape

Dato: D_Cape





Ulteriori punti aventi spaziatura di 15' sono stati aggiunti nella finestra ArcMap già georeferenziata nella proiezione personalizzata. La mappa digitale è stata quindi visualizzata nella finestra ArcMap di progetto e i punti del reticolo geografico di 15' di spaziatura del sistema di coordinate geografiche stampati sulla mappa sono stati "linkati" ai punti precedentemente digitalizzati.

Si è quindi definita un'area di interesse (AOI) del geodatabase per coprire l'estensione areale della Carta. Una volta settati tali parametri, la versione digitale della Carta Idrogeologica del Lesotho era in grado di essere osservata e gestita come "oggetto" raster con tutti i dati e le informazioni pronti per essere acquisiti in forma digitale e archiviati in un geodatabase. La limitazione all'acquisizione dei dati è stata posta solo dalla risoluzione della mappa digitale, non di grandissimo dettaglio.

▪ **Digitalizzazione dei dati geo-idrologici e loro compilazione in un geodatabase**

I dati idrologici raccolti sul campo e riportati sulla Carta sono stati digitalizzati, memorizzati in un geodatabase e organizzati in "feature classes".

I dati sono stati infine analizzati e confrontati utilizzando le funzioni del GIS.

I seguenti dati acquisiti dalla Carta sono stati registrati nel geodatabase:

- Stazioni pluviometriche
- Piovosità media annuale
- Evapotraspirazione media annuale
- Precipitazione Efficace media annuale

Dati geologici:

- Dicchi di dolerite
- Formazioni geologiche

Dati geografici:

- Corsi d'acqua
- Bacini idrologici

Dati idrogeologici:

- Sorgenti
- Pozzi idrici perforati durante lo svolgimento del Progetto di approvvigionamento idrico in zone rurali.
- Stazioni di deflusso idrico e registrazioni delle quantità di deflusso medio annuale (Ruscellamento).

Sono stati inoltre acquisiti mediante digitalizzazione dei contours e georeferenzazione delle Carte originali:

- Carta delle precipitazioni annuali medie
- Carta delle precipitazioni efficaci annuali medie
- Distribuzione degli insediamenti rurali.

A Gennaio 2017 è stata digitalizzata dalla Carta idrogeologica digitale originale una versione più dettagliata. La copertura geologica è stata digitalizzata in scala 25K e i segmenti dei limiti geologici sono stati registrati nel nuovo geodatabase (Lesotho_geological_map_updatedNEW_Jan17.gdb) e assegnati ai seguenti sottodomini:

1. limite geologico
2. faglia
3. dicco doleritico
4. sill

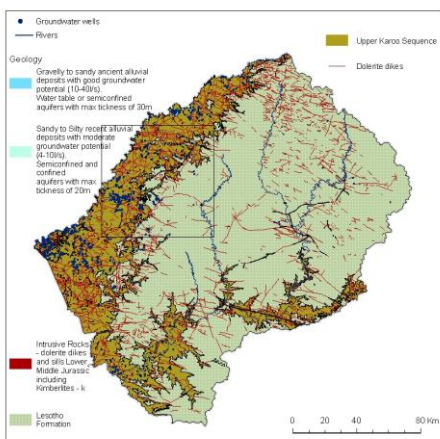




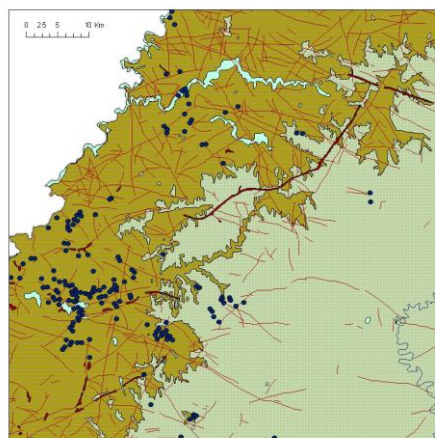
5. limite non definito o non riconosciuto
6. fiumi che definiscono limite geologico
7. sovracorrimento (thrust)
8. confine internazionale - fiume
9. confine internazionale - terrestre
10. laghi - stagni - bacini idrici
11. confine internazionale definito da dicco doleritico
12. kimberliti
13. confine internazionale - fiume – dicco doleritico
14. bacini artificiali riportati in Carta, non ancora esistenti ma previsti dal Lesotho Highlands Water Project (LHWP).

Durante il lavoro di aggiornamento, anche la “feature class” fiumi è stata aggiornata e alcuni segmenti fluviali sono stati digitalizzati con maggiore dettaglio.

L’utilizzo dei sottodomini ha semplificato e velocizzato il lavoro di acquisizione e ha permesso di generare differenti tematismi da una singola “feature class” di segmenti (selezione mirata dei domini dalla “tabella attributi”). In tabella 1 sono riportati i tematismi registrati nel geodatabase aggiornato a Gennaio 2017.



<-[Fig.1
Geologia]
[Fig.1b
Geologia
dettaglio]->



Layer Name	Geometry	Descript.	file geodatabase
wells	point	boreholes locations	UPDATED_GEODATABASE_JAN17/ Lesotho_database_Mar16.gdb
Linear_Springs	point	location of linear springs	UPDATED_GEODATABASE_JAN17/ Lesotho_database_Mar16.gdb
Mean_rainfall_data_from_stations	point	hydrologic data (Rainfall, Effective Precipitation, etc.)	UPDATED_GEODATABASE_JAN17/ Lesotho_database_Mar16.gdb
DWA_Hydrometric_Station_discharge_m3sec	point	hydrometric stations (hydro-stations) with Runoff	UPDATED_GEODATABASE_JAN17/ Lesotho_database_Mar16.gdb
Hydrological_basins	line	hydrological basins and sub-basins	UPDATED_GEODATABASE_JAN17/ Lesotho_database_Mar16.gdb
Hydrological_basins_and_catchment_areas_poly_all	polygon	hydrological basins and sub-basins drained by hydro-stations	UPDATED_GEODATABASE_JAN17/ Lesotho_database_Mar16.gdb
Hydrological_basins_P	polygon	hydrological basins and sub-basins	UPDATED_GEODATABASE_JAN17/ Lesotho_database_Mar16.gdb
RuralSettlements_Villages	point	location of rural settlements	UPDATED_GEODATABASE_JAN17/ Lesotho_database_Mar16.gdb





Major_Urban_Ares	line	outline of main urban areas	UPDATED_GEODATABASE_JAN17/ Lesotho_database_Mar16.gdb
Rivers_NEWUPDATE	line	rivers network	UPDATED_GEODATABASE_JAN17/ Lesotho_geological_map_updatedNEW _Jan17.gdb
Lesotho_Geology_LINE_updated NEW	line	geology boundaries	UPDATED_GEODATABASE_JAN17/ Lesotho_geological_map_updatedNE_J an17.gdb
Lesotho_Geology_LINE_updated NEW_P_withlabels	polygon	geology polygons	UPDATED_GEODATABASE_JAN17/ Lesotho_geological_map_updatedNEW _Jan17.gdb
geology_labels	point	labels of geology polygons	UPDATED_GEODATABASE_JAN17/ Lesotho_geological_map_updatedNEW _Jan17.gdb
Geology_Legend	table	table with codes and description of geology units	UPDATED_GEODATABASE_JAN17/ Lesotho_geological_map_updatedNEW _Jan17.gdb
fishnet_10000m_new	line	grid of lines generated for quality control	UPDATED_GEODATABASE_JAN17/ Lesotho_geological_map_updatedNEW _Jan17.gdb
fishnet_10000m_new_Poly	polygon	polygon feature generated from the grid of lines feature	UPDATED_GEODATABASE_JAN17/ Lesotho_geological_map_updatedNEW _Jan17.gdb

(tabella 1 - il geodatabase aggiornato a Gennaio 2017)

▪ Analisi Idrologia

La valutazione dei volumi di acqua disponibili in un determinato bacino idrologico è uno dei compiti più importanti nell'analisi delle risorse idriche. Mappare i volumi di acqua di una regione (acque superficiali o sotterranee) è di fondamentale importanza per la gestione delle risorse idriche. L'identificazione e il calcolo della quantità di acqua disponibile sono importanti anche come validazione degli elementi geografici e dei fattori fisici che caratterizzano e identificano un bacino idrologico. Tale valutazione si effettua attraverso il calcolo del bilancio idrologico che è rappresentato dalla seguente espressione:

$$P = E_v + R + I$$

“P” è la pioggia totale (media annuale, giornaliera o settimanale).

“E_v” è l'Evapotraspirazione, la quantità di precipitazione intercettata dalle piante (traspirazione) e la quantità di acqua che evapora di nuovo nell'atmosfera (evaporazione).

“R” è il Ruscellamento, la quantità di acqua (acqua da precipitazioni e / o irrigazione) che ruscella e non si infiltra nel terreno.

“I” è l'Infiltrazione, la quantità effettiva di acqua che si infiltra nel sottosuolo e alimenta le falde acquifere, le sorgenti e i pozzi perforati.

Ruscellamento + Infiltrazione (R + I) rappresentano la Precipitazione Efficace o Effettiva, ovvero la quantità di acqua che raggiunge il bacino, alimentando i corsi d'acqua superficiali e le falde sotterranee.

I dati idrologici, litologici e climatici hanno evidenziato come gli apporti meteorici vadano soprattutto ad alimentare il Ruscellamento. La litologia e la conformazione del territorio non favoriscono l'Infiltrazione e





quindi l'alimentazione e l'accumulo di acque in falda (salvo poche eccezioni, le portate emunte dai pozzi perforati nelle zone rurali hanno in genere valori di pochi l/s).

I valori di Infiltrazione non erano presenti nella mappa idrogeologica, non essendo questo parametro stato registrato dalle stazioni pluviometriche. In generale, l'osservazione diretta di questo parametro è complessa. I suoi valori possono ottenersi con metodi indiretti, ad esempio attraverso la misura delle portate delle sorgenti e dei pozzi di emungimento. I valori di portata misurati alle sorgenti, così come i valori emunti dai pozzi, possono essere confrontati con i dati pluviometrici e da tale calcolo si può estrapolare il valore dell'Infiltrazione.

A tale proposito è importante svolgere un censimento dei pozzi e delle sorgenti e misurare le portate in uno o più anni idrologici.

Un'altra metodologia per la stima dei valori di Infiltrazione è attraverso la misura del Flusso di Base (Base Flow) da effettuarsi in stazioni idrometriche collocate lungo i corsi di acqua possibilmente alla chiusura dei bacini idrologici dell'area da esaminare. Il Flusso di Base, che si misura nei periodi di magra dei corsi d'acqua, è alimentato principalmente dalle acque sotterranee e quindi si rileva utile nella stima della frazione di acqua che si infila e alimenta le falde acquifere. Campagne di raccolta dati del Flusso di Base (Base Flow Survey) sono state svolte in Lesotho negli anni 1983, 1984, 1985 e 1986. Questi dati, seppur presenti nelle note tecniche che accompagnano la Carta, non sono stati utilizzati in questo lavoro.

Una stima del valore di Infiltrazione si può tuttavia presumere attraverso il Coefficiente di Infiltrazione Potenziale che è espresso come percentuale (%) del Ruscellamento.

Nella tabella 2 sono riportati i valori del Coefficiente di Infiltrazione per diverse litologie (da P. Celico - Prospezioni Idrogeologiche vol. II). All'interno di ogni singola litologia, il valore del coefficiente può variare in base ad altri fattori come la pendenza, la copertura del terreno, la porosità, l'alterazione e la fratturazione della roccia. I dati delle sorgenti e dei pozzi, la Geologia (disponibili nel geodatabase), un modello digitale del terreno (DEM), permettono di formulare una procedura per una stima dell'Infiltrazione.

Hydrogeological complex	Coefficient of Infiltration (% of total discharge)	Hydrogeological complex	Coefficient of Infiltration (% of total discharge)
carbonate rocks	90-100	lavas	90-100
dolomitic limestones	70-90	pyroclastic deposits	50-70
dolomites	50-70	pyroclastites and lavas	70-90
marl limestones	30-50	intrusive rocks	15-35
coarse debris	80-90	metamorphic rocks	5-20
alluvial deposits	80-100	sands	80-90
clayey-marl-sandstone deposits	5-25	clayey sands	30-50

(tabella 2 – valori del coefficiente di Infiltrazione)

I valori di Evapotraspirazione sono stati importati nel GIS dalla nota tecnica, documento che accompagna la Carta Idrogeologica. Tali valori sono stati copiati nella tabella attribuiti delle 90 stazioni pluviometriche rappresentate sulla Carta. Essi sono stati calcolati con la formula di Turc (1961), che calcola il potenziale medio mensile di Evapotraspirazione sulla base di fattori climatici (temperatura media mensile dell'aria, radiazione solare, altitudine, etc.).

Per quanto riguarda il Ruscellamento, esso è stato stimato per alcuni bacini idrologici ed è misurato come coefficiente di ruscellamento (%) frazione della Precipitazione Efficace. La tabella 3 riporta alcuni valori di ruscellamento e precipitazioni relativi ad alcuni bacini idrologici.





In dettaglio, la Precipitazione Efficace è stata calcolata da:

- 1) i contours della Carta delle Precipitazioni Efficaci
- 2) le stazioni pluviometriche distribuite nel territorio.

I valori di piovosità registrate dalle stazioni pluviometriche sono stati analizzati e estrapolati con l'applicazione dei poligoni di Thiessen, generati utilizzando la funzione del GIS. I risultati ottenuti sviluppando i punti 1 e 2 sono stati confrontati al valore del Ruscellamento (Runoff) misurato nelle stazioni idrometriche localizzate lungo i corsi d'acqua.

Il confronto di questi dati hanno dimostrato che esiste una buona correlazione nei bacini di più grande estensione e localizzati più a valle dalla zona di maggior apporto meteorico, che è la regione più montagnosa localizzata nelle zone orientali del Paese. Quando si ha buona correlazione, il valore del Ruscellamento misurato nelle stazioni idrometriche è vicino al valore delle Precipitazioni Efficaci.

Ad esempio, nel bacino idrologico drenato dalla stazione idrica SG3, la quantità di acqua calcolata dai dati di precipitazioni efficaci estrapolati con i poligoni di Thiessen, è superiore solo del 35% rispetto alla quantità di acqua registrata alla stazione idrometrica SG3, cioè all'uscita del bacino: 171 mm di acqua (portata media annuale) osservati alla stazione idrometrica contro i 232 mm di acqua (piovosità media annuale) estrapolati con la metodologia dei poligoni di Thiessen costruiti con le stazioni pluviometriche. Il 35% di acqua mancante registrata nella stazione idrometrica può essere ragionevolmente costituito dalla frazione di acqua che alimenta l'Evapotraspirazione e l'Infiltrazione nel bacino idrologico.

Così non avviene in alcuni sotto-bacini di piccole dimensioni localizzati nelle zone montane e di maggior apporto meteorico. Qui si sono osservati valori di Precipitazione Efficace estremamente più alti dei valori di Ruscellamento misurati all'uscita dei sotto-bacini. Le ragioni possono essere le seguenti:

- Una sovrastima dei valori di Precipitazione Efficace estrapolati con Thiessen e con i contours, anche dovuti ad una non omogenea distribuzione delle stazioni pluviometriche sul territorio.
- La mancanza dei valori di Infiltrazione e di Evapotraspirazione. Soprattutto l'evapotraspirazione in queste zone montane può assumere valori molto alti dovuti all'insolazione e all'azione del vento.
- Il tempo di corrivazione. Gli eventi meteorici, infatti assumono spesso caratteristiche di nubifragio, con precipitazioni violente e concentrate in brevi periodi di tempo. Questo causa un deflusso idrico molto veloce nei bacini montani più piccoli e quindi un tempo di corrivazione molto breve che potrebbe non permettere la registrazione della quantità di acqua passante per la stazione idrometrica all'uscita del bacino più a monte. Quantità che però vengono registrate nei bacini più lontani dove il tempo di corrivazione è maggiore.

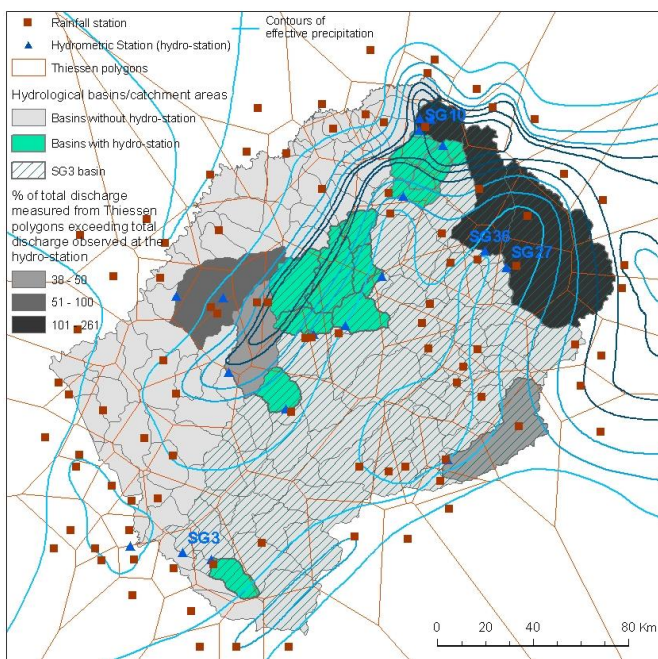
N° Hydro-station/Gauge	Mean Tot. disch. measured at hydrost. (mm)	Mean Tot. disch. from effective precip. contours (mm)	Mean Tot. disch. from Thiessen polygons (eff. prec. values at weather stations) (mm)	Percent above (or below - ref. to the Thiessen calculation). The value measured at the hydro-station = 100%	Runoff coefficient percent of Effective precipitation (Thiessen polygons)
SG27	89.78075	318.499643	294.979341	+228%	30.43%
CG24/SG61	158.554088	219.2675	259.238975	+63.5%	61.16%
SG10/11/12	355.832314	203.025007	717.719269	+101.7%	49.57 %
SG17	374.237451	475.7845	401.555558	+7.3%	93.1%





N° Hydro-station/Gauge	Mean Tot. disch. measured at hydrost. (mm)	Mean Tot. disch. from effective precip. contours (mm)	Mean Tot. disch. from Thiessen polygons (eff. prec. values at weather stations) (mm)	Percent above (or below - ref. to the Thiessen calculation). The value measured at the hydro-station = 100%	Runoff coefficient percent of Effective precipitation (Thiessen polygons)
SG18	164.53563	272.606851	221.138283	+34.40%	74.40 %
SG36	87.547821	380.990445	316.00467	+260.97%	27.70 %
SG41	168.786462	324.981162	195.221466	+15.66%	86.45 %
SG64	192.5345	200.784142	201.041454	+ 4.42%	95.76 %
SG7	155.651717	242.957273	214.172815	+37.59%	72.7 %
MG19	224.363444	465.703791	336.754376	+50.09%	66.62 %
SG45	484.817614	581.324688	570.694925	+17.71%	84.95 %
SG3	171.64573	249.714614	232.444734	+35.42%	73.84 %

(tabella 3: dati di Precipitazione efficace e Ruscamento in diversi bacini)



[Fig.2 Analisi Bacini Idrologici]

3. CONCLUSIONI

Il lavoro ha evidenziato la versatilità e la capacità del GIS nella gestione di database idrologici acquisiti da Carte. L'analisi idrologica condotta utilizzando i dati di alcuni bacini ha messo in evidenza l'apporto del valore di Ruscamento nel bilancio idrologico. Ulteriori approfondimenti potrebbero essere condotti all'interno della piattaforma GIS con nuovi dati disponibili. Dati che potrebbero essere utilizzati come input per l'utilizzo di altre metodologie, come il calcolo dell'"Equilibrio idrologico inverso" (Civita 1973-75, Civita et al.1974, Civita et al. 1983, Civita et al. 1984, Civita et al., 1981, Civita et al. 1994, Civita et al.,





1995), una metodologia indiretta che si avvale di un modello numerico che si può realizzare all'interno di una piattaforma GIS e che permette di giungere alla stima dell'Infiltrazione laddove sia difficile avere a disposizione dati sperimentali raccolti sul terreno. La metodologia si avvale infatti di parametri climatici derivabili da telerilevamento, in genere di più facile acquisizione, di parametri idrogeologici estrapolabili dalla litologia della regione e di parametri topografici (esposizione e pendenza) facilmente derivabili dai modelli digitali del terreno (DEM) anche essi di facile acquisizione tramite telerilevamento.

BIBLIOGRAFIA

- Rural Development and Land Reform- Republic of South Africa
(<http://www.ngi.gov.za/index.php/technical-information/geodesy-and-gps/datum-s-and-coordinate-systems>)
- Pietro Celico – *Prospezioni Idrogeologiche* – Vol. II (Liguori Editore)
- FAO/World Water Council - TOWARDS A WATER AND FOOD SECURE FUTURE- Critical Perspectives for Policy-makers
- Department of Water Affairs, South Africa, 2012. DEVELOPMENT OF RECONCILIATION STRATEGIES FOR LARGE BULK WATER SUPPLY SYSTEMS ORANGE RIVER: SURFACE WATER HYDROLOGY AND SYSTEM - ANALYSIS REPORT - Prepared by: WRP Consulting Engineers Aurecon, Golder Associates Africa, and Zitholele Consulting. Report No. P RSA D000/00/18312/7
- Pavelic, P.; Senaratna Sellamuttu, S.; Johnston, R.; McCartney, M.; Sotoukee, T.; Balasubramanya, S.; Suhardiman, D.; Lacombe, G.; Douangsavanh, S.; Joffre, O.; Latt, K.; Zan, A. K.; Thein, K.; Myint, A.; Cho, C.; Htut, Y. T. 2015. *Integrated assessment of groundwater use for improving livelihoods in the dry zone of Myanmar*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). 47p. (IWMI Research Report 164). doi: 10.5337/2015.216
- Republic of Mozambique – Ministry of Construction and Water, National Directorate for Water Affairs (DNA), *Explanatory Notes to the Hydrogeological Map of Mozambique* – scale 1:1,000,000 – 1987. Project of the Hydrogeological Map of Mozambique (sponsored by UNICEF)
- Bellwood-Howard, I.; Häring, V.; Karg, H.; Roessler, R.; Schlesinger, J.; Shakya, M. 2015. *Characteristics of urban and peri-urban agriculture in West Africa: results of an exploratory survey conducted in Tamale (Ghana) and Ouagadougou (Burkina Faso)*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). 38p. (IWMI Working Paper 163). doi: 10.5337/2015.214
- INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY *Int. J. Climatol.* 18: 329–345 (1998) RAINFALL AND FLOW VARIATIONS IN THE LESOTHO HIGHLANDS - K.J. SENE*, D.A. JONES, J.R. MEIGH and F.A.K. FARQUHARSON *Institute of Hydrology, Maclean Building, Wallingford, Oxfordshire OX10 8BB, UK* © 1998 Royal Meteorological Society
- CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – *The Clean Water Team Guidance Compendium for Watershed Monitoring and Assessment State Water Resources Control Board 5.1.3 FS-(RC) 2011- Runoff Coefficient(C) Fact Sheet*





- Precipitazioni - Manuali tecnici – Hoepli (http://www.manualihoepli.it/media/doc/usai_cap1.pdf)
- 2007-01 RO-i Urban Drainage and Flood Control District (from RESEARCH GATE portal: “050 Chapter 05 Runoff 2008-04 Rev.pdf”)
- <http://www.lhwp.org.ls> (portale del Lesotho Highlands Water Project)

L' Autore ha lavorato in Lesotho come idrogeologo nel 1987-1988 con il Ground Water Project. Dal 1998 si occupa di GIS e Telerivelamento. Dal 2003 al 2014 e' stato consulente esperto GIS presso le sedi centrali delle Organizzazioni Internazionali FAO e Programma Alimentare Mondiale. Dal 1998 al 2003 è stato impiegato presso l'Enterprise Oil - azienda attiva nell'esplorazione di Idrocarburi, all'interno del gruppo di studio dei giacimenti, occupandosi della gestione dei dati geologici e geografici finalizzati al calcolo delle riserve e alla definizione/parametrizzazione dei modelli geometrici dei giacimenti.

Parole chiave:

GIS - Geodatabase – Idrologia – Idrogeologia – Lesotho – Bilancio Idrologico – Ambiente – Geologia – Bacini Idrologici

