

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA AGRARIA
DOTTORATO DI RICERCA IN INGEGNERIA AGRARIA
XXII CICLO

Dott. Salvatore Saggio

VALIDAZIONE DEL MODELLO SWAT PER LA STIMA
DELL'INTERRIMENTO DI UN SERBATOIO ARTIFICIALE:
IL CASO STUDIO DEL RAGOLETO (SICILIA)

TESI DI DOTTORATO

Tutor

Chiar.mo Prof. Giuseppe Luigi Cirelli

Coordinatore:

Chiar.mo Prof. Antonino Failla

Anno Accademico 2009-2010

Dicembre 2010

Ringraziamenti

Ringrazio il Prof. Giuseppe Luigi Cirelli, per l'attenzione, la professionalità e la pazienza mostrata nel seguirmi durante tutto il periodo del dottorato di ricerca.

Ringrazio l'ing. Feliciano Licciardello per l'insostituibile contributo e disponibilità dimostratami durante tutta l'attività di ricerca nonché nella redazione della presente tesi.

Ringrazio il dott. Giuseppe Mazzola per avermi fornito dati, supporti bibliografici e soprattutto per avermi reso partecipe della sua lunga esperienza in campo.

Ringrazio particolarmente il prof. Antonino Failla, il cui incoraggiamento ed esempio è stato determinante fin dall'inizio del mio percorso di studi.

Ringrazio tutto il personale del Dipartimento di Ingegneria Agraria, per la disponibilità e l'accoglienza, ed in particolare i colleghi/amici dottorandi per il supporto e la collaborazione, con i quali ho condiviso esperienze professionali ma soprattutto un piacevole percorso di vita insieme.

INDICE

CAPITOLO 1	
Introduzione	
1.1 Premessa	1
1.2 Obbiettivi	3
1.3 Organizzazione del lavoro	3
CAPITOLO 2	5
La gestione dei sedimenti in alcuni serbatoi in Sicilia	5
2.1 Il problema dell'interrimento nei serbatoi artificiali	5
2.2 Esperienze di controllo e gestione dei sedimenti in alcuni serbatoi siciliani	7
CAPITOLO 3	15
Caratterizzazione del bacino Ragoletto	15
3.1. Caratteristiche climatiche, morfologiche, pedologiche, vegetazionali del bacino Ragoletto	15
3.1.1 Carta delle Acclività	23
3.1.2 Carta Pedologica	23
3.1.3. Carta dell'uso del Suolo	28
3.2. Analisi della risposta idrologica del bacino Ragoletto	31
3.2.1. Metodologia di stima dei deflussi	31
3.2.2. Valutazione del tempo di corrivazione	34
3.2.3. Correlazione afflussi deflussi	35
3.3. Analisi dell'interrimento del serbatoio Ragoletto.	37
3.3.1. Cenni sui più recenti metodi di rilievo batimetrico	37
3.3.2. Metodologia di rilievo adottata nel bacino Ragoletto	41
3.3.3. Dati di interrimento del bacino Ragoletto osservati dal 1963 al 2009	46
CAPITOLO 4	61
Caratteristiche e modalità di implementazione del modello SWAT	61
4.1. Principali caratteristiche del modello	61
4.2. Componente idrologica del modello	62
4.3. Componente erosiva del modello	68
4.4. Costruzione dei files di "input"	69
4.5. Metodologia di stima dei parametri e dati in ingresso al modello	81
CAPITOLO 5	83
Risultati delle applicazioni del modello SWAT.	83
5.1. Parametri statistici utilizzati per la valutazione del modello SWAT.	83
5.2. Analisi delle simulazioni dei deflussi superficiali.	85
5.2. Analisi delle simulazioni del trasporto solido	90

CAPITOLO 6	92
Considerazioni conclusive	92
Bibliografia	95
APPENDICI	
A – Carta Geologica	102
B- Carta Litotecnica	106
C – Carta delle Acclività	110
D – Carta Pedologica	114
E – Carta Uso del suolo	118
F - Valori mensili di precipitazione registrati nelle stazioni pluviografiche utilizzate	122
G – Deflussi registrati nel bacino Ragoletto	132
H - Valori medi dei parametri relativi al bilancio idrologico del bacino di alimentazione del serbatoio Ragoletto generati dal modello SWAT a scala di sottobacino per il periodo 1960-2008	134

INDICE FIGURE

Figura 2.1 Ubicazione dei maggiori serbatoi artificiali in Sicilia	8
Figura 2.2 Serbatoio Pozzillo	10
Figura 2.3 Serbatoio Ancipa	10
Figura 2.4 Serbatoio Gammauta	11
Figura 2.5 Serbatoio Comunelli	11
Figura 2.6 Serbatoio di Piana degli Albanesi	11
Figura 2.7 Serbatoio Disueri	11
Figura 2.8 Serbatoio Ogliastro	13
Figura 3.1 Ubicazione del bacino del fiume Acate Dirillo	15
Figura 3.2 Immagine satellitare del serbatoio Ragoletto	16
Figura 3.3 Sbarramento del serbatoio Ragoletto	17
Figura 3.4 Ubicazione e del bacino idrografico sotteso dal serbatoio artificiale Ragoletto	18
Figura 3.5 Valori medi mensile di precipitazione (mm) e temperatura registrati dalla stazione di Monterosso (667 m s. l.m.) dal 1960 al 2002	19
Figura 3.6 Delimitazione del bacino Ragoletto	20
Figura 3.7 Affioramenti di argille e marne sulle sponde del serbatoio Ragoletto	21
Figura 3.8 Estesi affioramenti calcarei subito a valle della diga Ragoletto	21
Figura 3.9 Seminativi e rimboschimenti a pini mediterranei lungo i versanti del serbatoio Ragoletto	28
Figura 3.10 Vegetazione a macchia mediterranea e formazioni a pino 'Aleppo lungo le rive del serbatoio Ragoletto	29
Figura 3.11 Aree denudate e a pascolo soggette a estesi fenomeni erosivi	30
Figura 3.12 Carta delle Categorie Forestali. In rosso evidenziata l'area del bacino Ragoletto	30
Figura 3.13 Curve quote-volumi del serbatoio artificiale Ragoletto	32
Figura 3.14 Deflusso annuo registrati dal 1980 al 2008 nel bacino sotteso dal serbatoio Ragoletto	34
Figura 3.15 Correlazione tra precipitazione mensile ragguagliata sul bacino di alimentazione e deflussi mensili al serbatoio Ragoletto	36
Figura 3.16 Cumulate annue delle precipitazioni mensili medie in un quinquennio e dei corrispondenti deflussi mensili medi	36

Figura 3.17 Sistema di rilievo batimetrico (Multibeam)	37
Figura 3.18 Sub bottom profiler	39
Figura 3.19 Schema di funzionamento del sistema batimetrico stratigrafico	39
Figura 3.20 Sistema di rilievo con Laser	40
Figura 3.21 Radar altimetrico	41
Figura 3.22 Schema di rilevazione batimetrica cin GPS operante in modo differenziale ed ecoscandaglio	42
Figura 3.23 Imbarcazione utilizzata per i rilievi batimetrici	43
Figura 3.24 Strumentazione a bordo (sinistra) Antenna GPS installata sul gommone coassialmente all'ecoscandaglio utilizzato per i rilievi batimetrici sul serbatoio Ragoletto (destra).	43
Figura 3.25 Navigazione sul serbatoio Ragoletto durante la campagna di rilievo batimetrico	44
Figura 3.26 Rilievo batimetrico lungo le sponde del serbatoio Ragoletto	45
Figura 3.27 Schema del percorso seguito con l'imbarcazione durante il rilievo batimetrico del serbatoio artificiale Ragoletto (Giugno 2007).	45
Figura 3.28 Modello digitale 3D del fondo del serbatoio Ragoletto. Anno 2007	46
Figura 3.29 Batimetria del fondo del serbatoio Ragoletto relativa al 1961	47
Figura 3.30 Batimetria del fondo del serbatoio Ragoletto relativa al 2005	47
Figura 3.31 Sezione trasversale del serbatoio Ragoletto (a 2m dal paramento di monte): effetto di una cacciata. Anno 1991	48
Figura 3.32 Profilo longitudinale del fondo del serbatoio Ragoletto in prossimità delle opere di scarico prima e dopo il dragaggio nell'aprile-novembre 95	49
Figura 3.33 Carta degli interrimenti del serbatoio Ragoletto	50
Figura 3.34 Progetto di dragaggio del serbatoio Ragoletto (AGIP Petroli, 2005)	50
Figura 3.35 Progetto di dragaggio e riporto del serbatoio Ragoletto (AGIP Petroli, 2005)	51
Figura 3.36 Fasi del dragaggio Anno 2006	51
Figura 3.37 Dragaggio in prossimità degli scarichi di fondo	51
Figura 3.38 Mappa delle aree di dragaggio e di riporto dei fanghi di dragaggio	52
Figura 3.39 Gruppo dragante	52
Figura 3.40 Gruppo dragante in azione (sinistra); i fanghi aspirati vengono pompati, attraverso una condotta galleggiante, verso l'area all'interno del serbatoio destinata allo stoccaggio (destra)	53

Figura 3.41 I fanghi aspirati in prossimità dello sbarramento vengono depositati nell'area di stoccaggio (sinistra) delimitata da barriere mobili (destra).	53
Figura 3.42 Curve di livello del serbatoio artificiale Ragoletto (rilievo batimetrico 2007). In figura sono localizzate le sezioni trasversali, indicate con lettere da A ad H.	54
Figura 3.43 - Sezioni trasversali del serbatoio artificiale Ragoletto rispettivamente A-A (a 52 m dallo sbarramento), B-B (a 128 m dallo sbarramento), C-C (a 290 m dallo sbarramento) e E-E (a 800 m dallo sbarramento).	54
Figura 3.44 Sezioni trasversali del serbatoio artificiale Ragoletto rispettivamente D-D (a 530 m dallo sbarramento), F-F (a 405 m dallo sbarramento), H-H (a 1170 m dallo sbarramento) e G-G (a 700 m dallo sbarramento).	55
Figura 3.45 Carta a curve di livello del serbatoio artificiale Ragoletto (rilievo batimetrico del giugno 2009).	56
Figura 3.46 Serbatoio artificiale Ragoletto: sezioni trasversali B-B (a 128 m dallo sbarramento), C-C (a 290 m dallo sbarramento), D-D (a 530 m dallo sbarramento), ed E-E (a 800 m dallo sbarramento). (Rilievi di dicembre 2007 e giugno 2009).	57
Figura 3.47 Strumentazione per il campionamento delle acque a varie profondità	59
Figura 3.48 Punti di prelevamento dei campioni d'acqua	60
Figura 3.49 Concentrazione dei solidi sospesi SST lungo il profilo del serbatoio Ragoletto nei punti considerati	60
Figura 4.1 _Interfaccia del modello SWAT	61
Figura 4.2. Ubicazione stazioni climatiche	73
Figura 4.3 Digital Elevation Model 3D e delimitazione del bacino Ragoletto realizzata in ArcView	74
Figura 4.4 Mappa del tipo di suolo nel bacino Ragoletto elaborata da SWAT	76
Figura 4.5 Mappa dell'uso del suolo nel bacino Ragoletto elaborata da SWAT	77
Figura 4.6 Valori di deflusso medio annuo (mm) simulati da SWAT per i diversi sottobacini nel periodo 1960-2008	78
Figura 4.7 Valori di produzione di sedimenti media annua (t/ha) simulati da SWAT per i diversi sottobacini nel periodo 1960-2008	79
Figura 4.8 Suddivisione in sottobacini e rete idrografica del bacino di alimentazione del serbatoio Ragoletto ottenuta con SWAT	81
Figura 4.9 Parametri relativi al tipo di suolo <i>Suoli bruni</i> inseriti in SWAT.	82
Figura 4.10 Parametri relativi all'uso del suolo Seminativo inseriti in SWAT.	82
Figura 5.1 (a) Precipitazione e volumi di deflusso annui osservati e simulati nel bacino Ragoletto nel periodo di calibrazione	87

Figura 5.1 (b) Precipitazione e volumi di deflusso annui osservati e simulati nel bacino Ragoletto nel periodo di validazione	88
Figura 5.2 Volumi di deflusso mensili osservati e simulati per il periodo di (sopra) calibrazione e (sotto) validazione nel bacino del Ragoletto.	89

INDICE TABELLE

Tabella 2.1 Dati sull'interrimento in alcuni grandi serbatoi siciliani (Barbagallo et al. 2004)	9
Tabella 3.1 Superficie dei territori comunali e centri abitati presenti nel bacino idrografico Acate Dirillo	17
Tabella 3.2. Analisi dei campioni di suolo prelevati nel Bacino Ragoletto (AGIP Petroli, 2005)	27
Tabella 3.3 Caratteristiche morfometriche principali del bacino Ragoletto	34
Tabella 3.4 Tempo di corrivazione del bacino Ragoletto (quota sezione di chiusura 328 m s.l.m.m.).	35
Tabella 3.5 Dati sulle cacciate dagli scarichi di fondo eseguite nel serbatoio Ragoletto Anno 1991	48
Tabella 3.6 Serbatoio artificiale Ragoletto: volumi di interrimento, perdita di capacità d'invaso e interrimento specifico annuo dal 1964 al 2009	58
Tabella 4.1 Determinazione del gruppo idrologico del suolo (SCS-USDA, 1972)	66
Tabella 4.2 Valori del CN per la condizione AMC II corrispondenti a diversi usi del suolo, tipi di sistemazione e di lavorazione del terreno, condizioni e gruppi idrologici (SCS-USDA, 1972).	67
Tabella 4.3 Determinazioni delle condizioni di saturazione del suolo antecedenti l'evento di saturazione (SCS-USDA, 1972)	68
Tabella 4.4 Stazioni di misura utilizzate per la costruzione dei files climatici nel bacino Ragoletto	70
Tabella 4.5 Dati utilizzati per il calcolo delle precipitazioni e della temperatura giornaliera per il periodo 1960 - 2008 nel bacino Ragoletto. Le parti in grigio indicano visivamente il periodo temporale di funzionamento della stazione indicata.	72
Tabella 5.1 Coefficienti e differenti misure per modelli di valutazione e loro intervallo di variabilità.	84
Tabella 5.2 Valori dei parametri statistici relativi al processo di calibrazione/validazione dei volumi di deflusso a scala annua e mensile nel bacino Ragoletto	86
Tabella 5.3 Valori di interrimento annui osservati e simulati prima e dopo la calibrazione nel bacino Ragoletto	91
Tabella 5.4 Valori dei parametri statistici relativi al processo di calibrazione dell'interrimento medio annuo nel bacino Ragoletto	91

CAPITOLO 1

Introduzione

1.1 - Premessa

Le trasformazioni ambientali indotte dall'uomo, hanno causato in molte parti del mondo un significativo incremento dei processi geomorfologici e della conseguente produzione di sedimenti (Turner *et al.*, 1990, IGBP-BAHC 1997; COST Action 623, 1999).

Le regioni del Mediterraneo sono particolarmente interessate dal fenomeno erosivo, essendo caratterizzate da lunghi periodi con assenza di precipitazione seguiti da eventi intensi in presenza di versanti acclivi, costituiti spesso da suoli erodibili. L'erosione ed il deposito di sedimenti hanno conseguenze sia in loco sia a valle. Gli effetti indotti in loco sono particolarmente importanti nelle aree coltivate, in cui la redistribuzione delle particelle di suolo eroso all'interno di un appezzamento di terreno, la perdita di suolo, la rottura degli aggregati, la riduzione di sostanza organica e dei nutrienti provocano una diminuzione della fertilità e della produttività del suolo stesso che può causare la riduzione dell'attività agricola, l'aumento dell'uso di fertilizzanti e infine l'abbandono del terreno (Pimentel *et al.*, 1995; Crosson 1997).

I problemi che si manifestano a valle, sono relativi alla deposizione di sedimenti nella parte valliva del corso d'acqua riducendo la sua capacità di trasporto idrico, accentuandone i rischi di esondazione e riducendo la capacità di invaso dei serbatoi artificiali. (Clark, 1985; Boardman *et al.*, 1994; Vestreæten e Poesen, 1999). I sedimenti possono essere anche considerati inquinanti perché a causa dell'assorbimento di residui di fertilizzanti, possono far aumentare i livelli di azoto e fosforo nei corpi idrici, provocandone l'eutrofizzazione (Sibbesen, 1995; Steegen *et al.*, 2001).

Il controllo dell'interrimento e la gestione dei sedimenti rivestono una notevole importanza nella gestione dei grandi serbatoi artificiali, specialmente nei casi in cui si evidenziano, nel bacino di alimentazione, accentuati fenomeni erosivi. Il mantenimento e la salvaguardia della capacità utile dei serbatoi artificiali rappresenta infatti un problema di primaria importanza, anche alla luce delle difficoltà di carattere tecnico, economico, sociale ed ambientale che rendono ormai quasi del tutto impossibile la

costruzione di nuove grandi dighe, soprattutto nei Paesi dell'Europa occidentale (Di Silvio, 1996).

Allo scopo di valutare l'evoluzione nel tempo della distribuzione e dell'entità del deposito solido nei serbatoi, il Dipartimento di Ingegneria Agraria, sezione Idraulica, dell'Università degli Studi di Catania ha proceduto a mettere a punto una metodologia speditiva basata sull'effettuazione di successivi rilievi batimetrici (Barbagallo et al., 2010).

La progettazione di interventi nel bacino idrografico di alimentazione, finalizzata al controllo dell'interrimento nei serbato, può essere supportata dall'utilizzo di modelli di previsione dell'erosione a scala di bacino. Tra i modelli di previsione utilizzati a livello internazionale, il modello SWAT "Soil and Water Assessment Tool" (Arnold et al., 1998) è quello attualmente tra i più utilizzati nel mondo.

Il modello fisicamente basato SWAT può essere applicato a bacini idrografici con diverse caratteristiche geomorfologiche, di tipo, uso e gestione del suolo per un illimitato numero di anni. Il modello SWAT è stato applicato in diversi paesi, con risultati promettenti nella valutazione del deflusso e della produzione di sedimenti, a scala annuale e mensile, (Tripathi et al., 2004, Chaplot, 2005, Di Luzio et al., 2005, Cau et al., 2005, Badas et al., 2004) in diverse condizioni di tipo, uso e gestione del suolo nonché in varie condizioni climatiche (Arnold e Fohrer, 2005; Gassman et al., 2007).

Alcune applicazioni del modello sono state condotte in varie zone del Mediterraneo, al fine di simulare il trasporto di sedimenti e nutrienti (Lo Porto et al., 2005), analizzare l'impatto della qualità delle acque e della sua disponibilità, sulle risorse agricole e forestali (Pappagallo et al., 2003), valutare i bilanci idrici a scala regionale (Lorrai e Cau, 2005) nonché conoscere l'importanza relativa delle componenti del bilancio idrologico (Sulis et al., 2004).

Esistono alcune applicazioni del modello SWAT in bacini di alimentazione di invasi, (Hotchkiss et al., 2000; White and Chaubey, 2005; Bouraoui et al., 2005) ma solo in un caso è stata valutata la capacità del modello di simulare volumi di interrimento misurati mediante rilievi batimetrici (Gessese e Yonas, 2008). Il confronto tra la produzione di sedimenti del bacino di alimentazione, e l'interrimento misurato nel serbatoio, può essere effettuata nei casi in cui la *trap efficiency* del serbatoio possa essere considerata vicina al 100% durante il periodo di tempo analizzato (Van Rompaey et al., 2005). Altre fonti di incertezza, nella valutazione dell'interrimento nei serbatoi, sono la produzione

di sedimenti dovuta all'acqua presente all'interno del serbatoio, che comunque può essere ritenuta trascurabile (De Vente et *al.*, 2006) e la quantità di sedimento che viene allontanato tramite le cacciate di fondo, operate periodicamente nei serbatoi artificiali, che spesso non è conosciuta. Nonostante tali incertezze, i rilievi batimetrici sono considerati più attendibili di altri metodi utilizzati per la misura della produzione di sedimenti, poiché forniscono un dato ottenuto nel lungo periodo, includono anche il trasporto di fondo (Strand e Pemberton, 1987) e consentono di avere misure dirette della produzione di sedimenti anziché stime indirette (De Vente et *al.*, 2006).

1.2 Obiettivi

La presente tesi è stata finalizzata a:

- caratterizzare il bacino di alimentazione del serbatoio Ragoletto;
- analizzare l'andamento temporale dei deflussi mensili e del processo di interrimento del serbatoio;
- trarre indicazioni in merito alla applicabilità e validità del modello SWAT per la previsione del deflusso superficiale e dell'interrimento, in ambiente Mediterraneo.

1.3 Organizzazione del lavoro.

Al fine di realizzare gli obiettivi previsti, sono state condotte le seguenti attività:

- Raccolta e analisi di dati climatici, pedologici di gestione e uso del suolo del bacino di alimentazione del serbatoio Ragoletto;
- Analisi dei volumi di deflusso e di sedimento osservati nel serbatoio;
- Applicazione del modello SWAT al bacino di alimentazione;
- Valutazione del modello mediante il confronto, quantitativo e qualitativo, con i volumi di deflusso e sedimento osservati nel serbatoio.

Nel capitolo 2 è trattato il tema del controllo e delle modalità di gestione dei sedimenti in alcuni grandi serbatoi artificiali in Sicilia.

Nel capitolo 3 sono riportate le caratteristiche generali dell'intero bacino idrografico del fiume Dirillo, nonché le caratteristiche specifiche del bacino di alimentazione del

serbatoio Ragoletto. In particolare sono descritti alcuni lineamenti relativi alla geologia, uso e tipo di suolo, acclività e pedologia. Nello stesso capitolo sono descritte le metodologie di stima dei deflussi mensili, nel periodo 1980 - 2008, al serbatoio nonché dell'interrimento del serbatoio nel periodo 1963 - 2009.

Lo studio delle caratteristiche del modello SWAT e la sua modalità di implementazione, è riportato nel capitolo 4 del presente lavoro. In particolare, vengono descritte la componente idrologica ed erosiva del modello, il reperimento dei dati climatici, la metodologia di stima dei parametri e l'implementazione dei corrispondenti files di input, tra cui l'implementazione delle mappe di uso e tipo di suolo.

Nel capitolo 5 vengono analizzati i risultati della applicazione del modello SWAT al bacino di alimentazione del serbatoio, in termini di deflussi superficiali e produzione di sedimento nel serbatoio medesimo .

Nel capitolo 6 sono riportate le conclusioni relative alla applicabilità del modello SWAT per la stima dell'interrimento in aree semi-aride mediterranee.

Inoltre vengono riportati in appendice i dati climatici e le carte di uso e tipo di suolo utilizzate per l'implementazione del modello.

CAPITOLO 2

La gestione dei sedimenti in alcuni serbatoi artificiali in Sicilia

2.1. Il problema dell'interrimento nei serbatoi artificiali

L'interrimento dei serbatoi artificiali è un fenomeno generalmente inevitabile che si sviluppa lentamente nel tempo, legato all'erosione del bacino di alimentazione, al trasporto solido nei corsi d'acqua ed alla sedimentazione nell'invaso. La presenza di uno sbarramento artificiale, infatti, altera la naturale condizione di equilibrio dei corsi d'acqua, creando un'area caratterizzata da velocità idriche basse e da una elevata capacità di sedimentazione del materiale solido (Morris e Fan, 1998; Lu et Higgitt, 2001). Il sedimento trattenuto si distribuisce all'interno del serbatoio in relazione alla granulometria, alle condizioni idrauliche e al tipo di gestione. Quando il livello idrico nei serbatoi permane elevato per lunghi periodi, si verifica una significativa selezione granulometrica; in particolare, i materiali più grossolani sedimentano a monte o all'interno del serbatoio formando depositi a delta, viceversa, i sedimenti più fini vengono trasportati in sospensione e si depositano nell'invaso fino a ridosso dell'opera di sbarramento. Tali sedimenti possono essere trasportati anche sotto forma di corrente di densità. Quando invece il livello oscilla o viene tenuto basso, la distribuzione granulometrica è più uniforme.

La gestione dei sedimenti per il controllo dell'interrimento nei serbatoi può riguardare due tipologie principali di interventi: interventi nel bacino idrografico di alimentazione e interventi nell'invaso. I primi sono mirati alla riduzione della produzione di sedimenti nei versanti del bacino mediante il contenimento dei fenomeni di erosione, superficiale o di massa, e di trasporto (sistemazioni idraulico-forestali, sistemazioni agrarie, opportune pratiche colturali, ingegneria naturalistica, intercettazione del trasporto solido). La seconda tipologia di interventi riguarda invece il controllo della deposizione del materiale solido nell'invaso (sluicing, venting) e il ripristino, anche parziale, della capacità d'invaso già interrita attraverso la rimozione dei sedimenti (dragaggio, sifonatura, flushing).

Tra le principali tecniche di gestione dei serbatoi miranti a limitare la sedimentazione del materiale solido trasportato dal corso d'acqua all'interno dell'invaso, particolare

importanza assumono la “Regolazione dell’Acqua e dei Sedimenti” (“RAS”) e lo scarico delle correnti di densità. Nei serbatoi gestiti con la tecnica RAS, in occasione del verificarsi di eventi piene, particolarmente cariche di solidi, gli scarichi di fondo vengono tenuti aperti, consentendo l’allontanamento del materiale solido che affluisce al serbatoio; durante lo scarico delle piene la corrente idrica dà luogo anche all’erosione dei sedimenti (flushing) depositati nei periodi precedenti.

In un serbatoio a regolazione pluriennale, lo scarico dei sedimenti con la tecnica RAS non può essere attuato dato che il livello idrico permane, generalmente, elevato; può però risultare possibile lo scarico delle correnti di densità. Tali correnti, che si formano nella parte di monte di un serbatoio durante le piene, a causa dell’elevata concentrazione di materiale solido trasportato in sospensione, possono non miscelarsi con l’acqua invasata e, sotto favorevoli condizioni (adeguata pendenza di fondo, sufficiente durata della piena, elevata concentrazione di sedimenti fini, pendenza dell’alveo elevata e alveo tendenzialmente rettilineo) possono raggiungere la diga ed essere eventualmente scaricate (Delft Hydraulics, 1992).

In un serbatoio può porsi il problema di dover intervenire per recuperare parte della capacità persa o per allontanare i sedimenti dalle opere di presa e di scarico. A tale scopo possono utilizzarsi le tecniche di flushing, dragaggio, sifonamento ed escavazione meccanica.

La, già citata, tecnica del flushing consiste nel rimuovere i sedimenti utilizzando una corrente idrica, solitamente indotta con la stessa acqua del serbatoio aprendo gli scarichi di fondo. Il metodo può essere impiegato per recuperare la capacità interrta oppure solo per allontanare i sedimenti depositati in prossimità degli scarichi di fondo e delle opere di presa; in quest’ultimo caso, l’operazione prende generalmente il nome di spurgo o cacciata.

Il dragaggio consiste in tre processi: escavazione (meccanica o idraulica per suzione), trasporto e scarico dei sedimenti. Il dragaggio idraulico è usato per aspirare dal fondo (dopo eventuale raschiatura con frese) depositi fangosi con elevato contenuto di particelle fini. Talvolta il sedimento dragato viene posto in una vasca nella quale permane fino a perdere gran parte del suo contenuto d’acqua, per essere quindi trasportato in un sito adatto. La sistemazione dei materiali dragati può essere effettuata dentro il serbatoio (non si recupera capacità interrta ma si allontana il deposito dagli

scarichi), in un sito idoneo fuori alveo o nel tratto di valle del corso d'acqua. (Delft Hydraulics, 1992).

Il sifonamento è una speciale tecnica di dragaggio idraulico che sfrutta la differenza di carico tra monte e valle della diga per la suzione dei sedimenti; tale tecnica è stata impiegata soprattutto in piccoli serbatoi (Roveri, 1982).

2.2 Esperienze di controllo e gestione dei sedimenti in alcuni serbatoi siciliani

In Sicilia sono in esercizio 27 serbatoi in alveo con bacino idrografico superiore ad 8 Km²; il volume regolato da tali serbatoi (circa $650 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) rappresenta circa il 25% delle risorse idriche superficiali utilizzabili nell'Isola (SOGESID, 2000). Per molti dei serbatoi di più antica realizzazione (15 sono in pieno esercizio da oltre 15 anni), l'apporto di materiale solido ha determinato una consistente riduzione della capacità di invaso e/o la ostruzione degli scarichi di fondo.

In Figura 2.1 è evidenziata l'ubicazione sul territorio di 13 tra i più importanti serbatoi siciliani. In Tabella 2.1 vengono riportati, per gli stessi serbatoi, alcuni dati relativi sia all'entità del deposito solido (Tamburino et al., 1989; Barbagallo e Tamburino, 1989; La Loggia e Minacapilli, 1997; Barbagallo et al., 2004), sia agli interventi effettuati per il controllo dei sedimenti.

Dalle rilevazioni effettuate è emerso che la capacità totale dei serbatoi presi in esame è passata da un valore iniziale di $489 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ a $432 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, con una perdita complessiva di circa il 12%. La riduzione media annua di capacità è risultata variabile (fino a oltre il 4% per il serbatoio Disueri) con un valore medio poco inferiore all'1% (valore medio rilevato su scala mondiale (Mahmood, 1987; Yoon, 1991).

L'interrimento ha determinato problemi, talvolta molto gravi, di ostruzione delle opere di scarico di fondo. Fatta eccezione per il Comunelli, generalmente, le opere di presa dei serbatoi, pur essendo minacciate dal deposito solido, risultano ancora funzionanti grazie al fatto che vengono tenute in esercizio più o meno continuo; ciò consente lo scarico del fango, che si deposita in prossimità di tali opere, assieme alle acque derivate per i diversi usi.

A fronte della rilevante entità del materiale depositato, gli interventi effettuati dagli enti gestori per il controllo dell'interrimento, salvo poche eccezioni, sono stati saltuari e generalmente poco efficaci. I principali interventi effettuati sono consistiti in: cacciate



Figura 2.1 - Ubicazione dei maggiori serbatoi artificiali in Sicilia

degli scarichi di fondo (generalmente nei casi di elevato livello idrico del serbatoio), dragaggi in prossimità degli scarichi, sovralti delle opere di presa e di scarico.

Cacciate dagli scarichi di fondo, effettuate saltuariamente e con modeste portate e durate di scarico, hanno riguardato principalmente i serbatoi Pozzillo, Ragoletto, Ancipa e Poma. Nel serbatoio Pozzillo (CT) (Figura 2.2) le cacciate, eseguite con livello idrico elevato durante il periodo invernale, hanno determinato all'interno dell'invaso la formazione di un cono di chiamata in prossimità dello scarico di fondo, che si è riusciti a demolire con cacciate di fango effettuate tra il 1968 e il 1984, anni in cui il serbatoio risultava vuoto nei mesi autunnali. Tali cacciate a serbatoio vuoto hanno consentito di allontanare complessivamente $8,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ di fango provocando in alcuni periodi un innalzamento fino a circa 2 m del letto dell'alveo, a valle della diga, per una lunghezza di un centinaio di metri (Tamburino et al., 1993). Dal 1985 l'ente gestore, temendo lo scivolamento delle sponde di tale cono sullo scarico di fondo, non effettua il completo

svuotamento dell'invaso mantenendo un livello idrico sufficiente a esercitare una azione stabilizzante sul cono di fango. Nell'autunno 1993, a causa di una fuoriuscita di fango nella camera di manovra delle paratoie, è stato necessario interrompere una cacciata dallo scarico di fondo ed è rimasta conseguentemente intasata la galleria di scarico.

Tabella 2.1: Dati sull'interrimento in alcuni grandi serbatoi siciliani (Barbagallo et al. 2004)

Serbatoio	Periodo di deposito (anni) (1)	Capacità utile (10^6 m^3)		Capacità al di sotto dell'opera di presa (10^6 m^3)		Riduzione capacità %	Problemi evidenziati	Interventi effettuati
		Progetto	Rilevata	Progetto	Rilevata			
Ancipa	43	22,0 (2)	22,0 (2)	2,6	1,1	6,1	A	cacciate mensili dallo scarico di fondo
Comunelli	20	6,0	5,6	1,7	0,0	27	A B	sovralzo presa, sostituzione scarico di fondo con sifoni
Disueri	11	12,0 (3)	7,1 (3)	1,0	0,0	45	A B D	costruzione nuovo serbatoio
Gammauta	54	1,6	0,7	0,4	0,0	65	A B D	dragaggio imbocco scarico
Nicoletti	22	17,0	17,0	2,0	1,5	2,6		
Ogliastro	29	108,0	102,1	0,1	0,0	5,5	A	
Piana degli Albanesi	60	32,8	29,8	-	-	9,1	A	sovralzo opere di prese e di scarico
Poma	18	67,3	67,0	4,2	3,1	2,0		cacciate mensili dallo scarico di fondo
Pozzillo	25	140,5	123,7	9,8	0,7	17,2	A B C D	cacciate dallo scarico di fondo
Prizzi	40	9,2	8,4	0,03	0,0	8,7		
Ragoletto	23	20,4	20,0	1,3	0,4	6,0	A	cacciate dallo scarico di fondo, dragaggio imbocco opere scarico e presa
Rubino	23	10,0	10,0	1,3	1,1	1,8		cacciate mensili dallo scarico di fondo
Trinità	22	17,5	11,7	0,5	0,2	33,9	D	cacciate saltuarie dallo scarico di fondo

A: ostruzione scarichi di fondo;

B: ostruzione opere di presa;

C: interrimento alveo a valle della diga;

D: elevata riduzione capacità

(1): periodo tra inizio esercizio e ultima rilevazione dell'interrimento

(2): alla quota di 943,7 m s.m. a cui è stata ridotta per motivi di sicurezza la ritenuta normale

(3): alla quota di 150 m s.m. a cui è stata ridotta per motivi di sicurezza la ritenuta normale

Nel serbatoio Ancipa (EN) (Figura 2.3) sono state, nel passato, eseguite con cadenza mensile, regolari cacciate dallo scarico di esaurimento, anche se da qualche tempo queste operazioni non vengono effettuate a causa di un prolungato guasto alle opere di intercettazione. Attualmente si eseguono cacciate mensili solo dallo scarico di fondo; le paratorie vengono aperte mediamente per quindici minuti; la portata media scaricata è di circa 10 m³/s.



Figura 2.2 – Serbatoio Pozzillo



Figura 2.3 - Serbatoio Ancipa

Interventi di dragaggio del materiale solido sono stati effettuati nei serbatoi Gammauta e Ragoletto con l'obiettivo di disostruire gli scarichi di fondo. L'attività di dragaggio nel serbatoio Ragoletto sarà descritto in dettaglio al paragrafo 3.2.3. Nel serbatoio Gammauta (Figura 2.4), nel primo periodo di esercizio, venivano operate con cadenza mensile cacciate dallo scarico di fondo, poi sospese in conseguenza di un guasto all'organo di scarico; ciò ha determinato la presenza, nel 1982, di circa dieci metri di deposito sulla soglia dello scarico di fondo. Tra il 1984 e il 1986 è stato effettuato un dragaggio che ha interessato una superficie di raggio pari a 200 m dall'opera di scarico. Il fango dragato (complessivamente 91·10³ m³) è stato depositato all'interno dell'invaso in un'area delimitata da due piccole dighe in pietrame poste in sponda destra del serbatoio e prospicienti al luogo delle operazioni. Il costo dell'operazione è stato di circa 10,85 € per m³ di fango dragato.

In alcuni serbatoi siciliani il mantenimento della funzionalità delle opere di presa e di scarico, minacciata dall'eccessivo deposito solido, è stato assicurato non attraverso interventi di controllo e rimozione del fango ma innalzando la quota di imbocco delle opere. Interventi di tale tipo sono stati realizzati nei serbatoi Piana degli Albanesi (PA) e Comunelli (CL) (Figura 2.5). In quest'ultimo serbatoio, le cui acque vengono utilizzate per irrigazione, non sono mai state effettuate cacciate dallo scarico di fondo. Dopo un

certo periodo di esercizio, l'opera di presa è stata prima sostituita con un sifone, disposto a cavallo dello scarico di superficie, e poi sopraelevata di circa 10 m. Anche l'opera di scarico è stata sostituita con una batteria di sifoni che, se possono assolvere la funzione di rapido svuotamento del serbatoio, non possono certamente assolvere la funzione di controllo del sedimento. Pertanto, allo stato attuale, il sedimento che perviene al serbatoio resta quasi completamente intrappolato nell'invaso la cui capacità utile si è ridotta sensibilmente anche a causa del sovralzo dell'opera di presa. Anche nel serbatoio Piana degli Albanesi (Figura 2.6), a seguito del completo interrimento dello scarico di fondo, si è intervenuti con la costruzione, sulla stessa galleria di scarico, di una tramoggia che ha portato la soglia di imbocco da 580,6 m a 590,5 m s.m.m. Successivamente la stessa opera di imbocco è stata, ancora, elevata fino a 592 m s.m.m.



Figura 2.4 Serbatoio Gammauta



Figura 2.5 Serbatoio Comunelli

Nel caso del serbatoio Disueri (Figura 2.7) l'entità con cui, in assenza di una adeguata gestione dei sedimenti, si è manifestato l'interrimento, unitamente a problemi di stabilità delle sponde, ha indotto alla costruzione di un nuovo serbatoio.



Figura 2.6 Serbatoio di Piana degli Albanesi



Figura 2.7 Serbatoio Disueri

Dalle esperienze descritte risulta evidente che il controllo dell'interrimento e la gestione dei sedimenti rivestono una rilevante importanza nella gestione dei grandi serbatoi, specie nel caso in cui si evidenziano, nel bacino di alimentazione, accentuati fenomeni erosivi. Il controllo periodico della evoluzione del deposito solido, dovrebbe peraltro costituire un'ordinaria attività di gestione dei serbatoi, anche al fine di individuare la più idonea tipologia di intervento di rimozione del materiale solido sedimentato. Ciò viene esplicitamente previsto anche dal Decreto Ministeriale 30/06/2004 che definisce i criteri per la redazione del Progetto di gestione degli invasi (ai sensi dell'art. 40 del D.Lgs. 152/1999) stabilendo che tale Progetto deve contenere, fra l'altro, informazioni su "*il volume di materiale solido sedimentato nel serbatoio al momento della redazione del progetto ed il volume medio di materiale solido che sedimenta in un anno nel serbatoio*" (art. 3, comma 2, lettera a). Più in generale, le problematiche legate all'erosione dei versanti del bacino di alimentazione e la conseguente produzione di sedimenti sono diventati di maggiore interesse per le autorità preposte alla gestione del territorio a livello locale, nazionale ed europeo.

La mancanza di sufficienti esperienze, nonché la estrema variabilità delle situazioni, rende difficile affrontare tale problema sulla base di schemi consolidati di analisi e di intervento. Nella gran parte dei serbatoi siciliani il problema più urgente posto dall'interrimento è costituito dall'ostruzione (o dal rischio di ostruzione) degli scarichi di fondo. L'effettuazione di cacciate da tali scarichi, con elevato livello idrico nel serbatoio, ha posto problemi di tipo diverso. Nei serbatoi attrezzati con opere di scarico di piccole dimensioni (come nel caso del Pozzillo e del Ragoletto) è stata rilevata una modesta influenza degli spurghi sulla zona di deposito, nell'intorno degli scarichi, e la formazione nell'arco di alcuni anni di un cono di fango con sponde molto ripide e pertanto soggette a franamento, in caso di completo svuotamento del serbatoio. In altri serbatoi, con scarichi di grandi dimensioni (come l'Ogliastro; Figura 2.8) , non è stato possibile effettuare sistematiche cacciate dal fondo che avrebbero comportato consumi idrici elevati e reso incompatibili gli usi tradizionali. Le cacciate con bassi livelli idrici, che sarebbero state in grado di allargare il cono di chiamata riducendone la pendenza delle sponde ed il rischio di scivolamento sullo scarico di fondo, sono state effettuate raramente perché presentano alcune limitazioni legate a: elevati consumi idrici, rischi di ostruzione degli scarichi, interrimento (più o meno parziale e temporaneo) dell'alveo a valle con il conseguente rigurgito degli sbocchi degli scarichi, necessità di svuotamento

dei serbatoi per alcuni mesi che risulta talvolta incompatibile in presenza di domande in tutto l'arco dell'anno (come ad esempio nei serbatoi Ancipa, Ragoletto, ecc.).

Lo scarico di sedimenti a valle degli sbarramenti, con opportune portate, durate e concentrazioni, consentirebbe di tendere al ripristino delle condizioni di equilibrio tra afflussi e deflussi solidi, preesistente alla realizzazione dello sbarramento. A tal proposito occorrerebbe considerare, tra i possibili usi dell'acqua, anche il trasporto solido fino al mare ai fini del ripascimento delle spiagge. La esecuzione di consistenti cacciate dal fondo andrebbe comunque preceduta da indagini finalizzate a valutare gli effetti (anche ambientali) sull'alveo a valle.

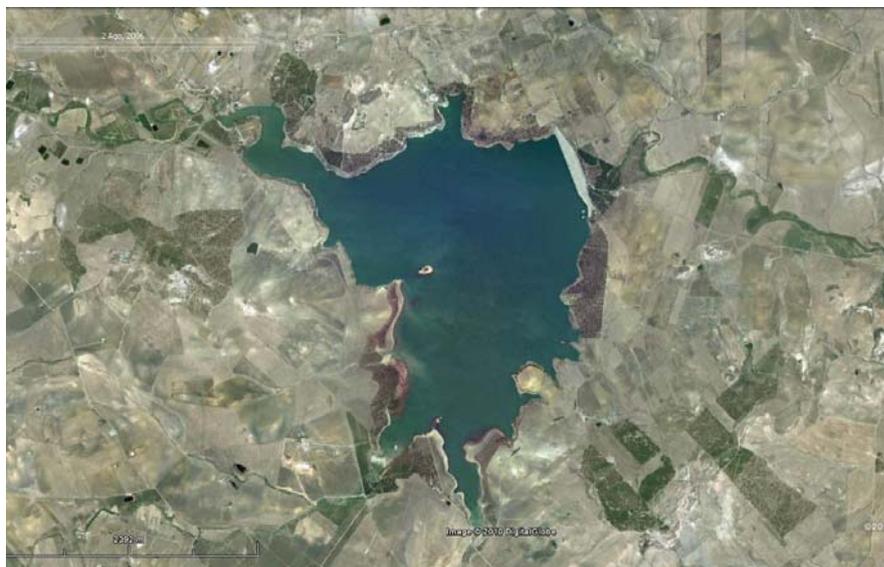


Figura 2.8 – Serbatoio Ogliastro

Alla perdita della funzionalità delle opere sussidiarie degli sbarramenti, in alcuni casi si è ovviato innalzando la soglia di imbocco dell'opera di presa e/o di scarico; tali interventi, divenuti in alcuni casi indispensabili in assenza di una corretta gestione preventiva dei sedimenti, determinano, però, una riduzione permanente della capacità del serbatoio e non possono costituire una soluzione generalizzabile al problema dell'interrimento.

Nei serbatoi siciliani le poche esperienze di dragaggio del materiale solido, in prossimità delle opere di scarico, hanno confermato la opportunità di limitare interventi di tale tipo alla sola disostruzione degli scarichi in condizioni di emergenza (piuttosto che alla ricostituzione della capacità utile), stante gli elevati costi.

Le esperienze condotte nei serbatoi siciliani, evidenziano la necessità che in tutti i serbatoi possano essere ordinariamente effettuate cacciate dagli scarichi di fondo, in modo da evitare un eccessivo accumulo che rende poi indispensabili interventi di emergenza non ottimali dal punto di vista tecnico e/o economico. A tale scopo, occorre prevedere (per il futuro possibilmente sin dalle fasi di progetto e realizzazione dei serbatoi) opere idonee alla gestione dei sedimenti, che consentano almeno lo sfangamento delle aree prossime agli scarichi e alle prese, quali condotte per il dragaggio e/o il sifonamento, scivoli per l'accesso alle opere di scarico con mezzi meccanici, opere di presa e di scarico a quote diverse, dispositivi per la rimozione del fango in prossimità dello scarico in grado di allontanare fino a distanze di sicurezza le pareti del cono di chiamata, sbocchi di valle degli scarichi a quota sufficiente ad evitare il rigurgito in seguito ad un temporaneo interrimento dell'alveo a valle, ecc. La necessità di destinare una parte degli afflussi idrici al serbatoio all'allontanamento dei sedimenti richiede in alcuni casi di ridurre le derivazioni per gli usi convenzionali o, più opportunamente, di reperire risorse idriche integrative. Inoltre, in alcuni casi, una maggiore interconnessione dei sistemi idrici consentirebbe di attenuare i problemi legati alla perdita temporanea dell'uso di un vaso, permettendo di effettuare gli interventi necessari al mantenimento a lungo termine della sua funzionalità.

CAPITOLO 3

Caratterizzazione del bacino Ragoletto

3.1 Caratteristiche climatiche, morfologiche, pedologiche e vegetazionali del bacino

Il bacino idrografico del fiume Acate-Dirillo è localizzato nella Sicilia sud-orientale, al limite della pianura di Vittoria (RG) ed in prossimità del margine sud-occidentale dell'Altopiano Ibleo. Il bacino imbrifero presenta la forma di un poligono irregolare allungato in senso NE-SW. Il fiume Dirillo ed i suoi affluenti Terrana e Ficuzza, ha una superficie complessiva di circa 740 km² ed altimetria compresa fra 0 e 986 m s.l.m. In figura 3.1 è visibile, sul territorio siciliano, l'ubicazione del bacino idrografico Acate Dirillo.



Figura 3.1: Ubicazione del bacino del fiume Acate Dirillo

L'area circoscritta dal bacino, interessa quattro province e quindici territori comunali. In Tabella 3.1 sono elencate le province e i comuni ricadenti all'interno del bacino con i relativi valori di popolazioni residente e superficie areale.

I corsi d'acqua Dirillo ed i suoi affluenti presentano tutti un regime idrologico marcatamente torrentizio, con deflussi di magra molto modesti o esigui per il corso principale e addirittura nulli per gli altri. Ad essi si aggiunge una rete idrografica minore data da torrenti e fossi che si articolano con un pattern di tipo dendritico. A Sud

dell'abitato di Licodia Eubea (CT), lungo l'asta principale del fiume Dirillo, è stato realizzato, 500 m a monte del ponte Ragoletto, l'invaso artificiale del serbatoio Ragoletto (Figura 3.2). Il corpo diga è del tipo a gravità massiccia, in calcestruzzo, con un'altezza massima di 61 m (ai sensi della Legge 584/1994) e uno sviluppo del coronamento di 332 m (Figura 3.3). Nel corpo diga sono inseriti due scarichi di fondo, muniti di griglia, con imbocco a sezione quadrata (3 m x 3 m), posti a 285,0 m s.m.m. (quota asse). Le quote di coronamento, di massimo invaso e di ritenuta normale sono rispettivamente pari a 331,0, 329,6 e 328,0 m s.m.m.. La capacità totale d'invaso è di 23,5 Mm³ di cui 2,2 Mm³ destinati alla laminazione delle piene e 1,3 Mm³ destinati all'interrimento. La capacità utile del serbatoio è pertanto pari a 20 Mm³

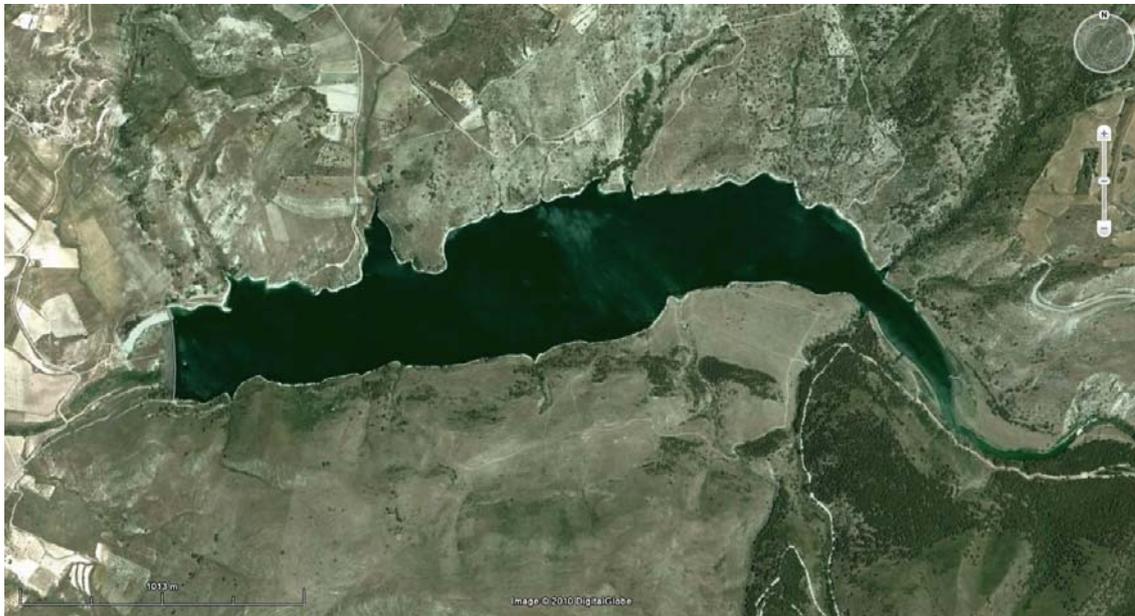


Figura 3.2 – Immagine satellitare del serbatoio Ragoletto

Le acque del serbatoio, gestito dall' Agip Petroli S.p.A., vengono utilizzate a scopo industriale (stabilimento petrolchimico di Gela) ed irriguo (Consorzio di Bonifica n. 8 di Ragusa). Il serbatoio è entrato in esercizio nel 1963 e sottende un bacino imbrifero di 117,5 km² chiamato Ragoletto (Figura 3.4 e 3.6). L'invaso svolge inoltre, la funzione di laminare le piene a salvaguardia del territorio sotteso dal bacino.

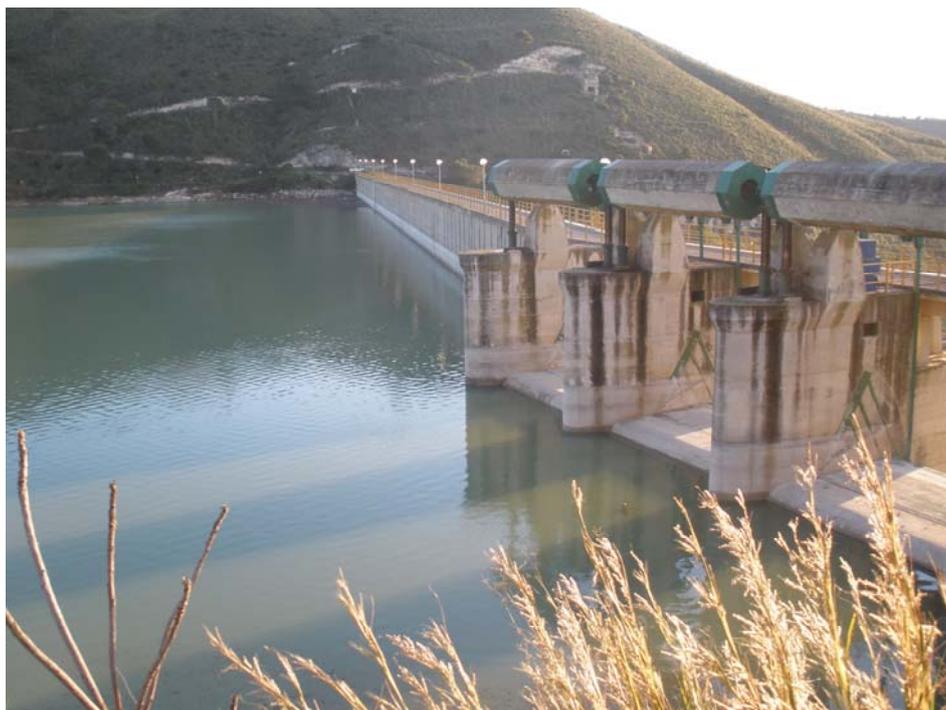


Figura 3.3: Sbarramento del serbatoio Ragoletto

Tabella 3.1 Superficie dei territori comunali e centri abitati presenti nel bacino idrografico Acate Dirillo

PROVINCIA	COMUNE	Residenti	SUPERFICIE (Kmq)			Centro abitato ricadente nel bacino
			Totale	Interna al bacino	Percentuale %	
CALTANISSETTA	Gela	72.774	277,2	59,69	21,54	NO
	Niscemi	27.641	96,6	51,27	53,07	NO
CATANIA	Caltagirone	37.373	380,8	208,74	54,82	SI
	Grammichele	13.395	31,2	11,82	37,94	SI
	Licodia Eubea	3.161	111,7	109,75	98,23	SI
	Mazzarrone	3.685	34,8	34,8	100	SI
	Mineo	5.586	244,4	0,35	0,14	NO
	Vizzini	7.105	125,6	49,0	39,0	SI
RAGUSA	Acate	8.000	101,8	61,49	60,39	SI
	Chiaromonte G.	8.099	126,7	80,51	63,55	SI
	Comiso	29.076	64,7	0,75	1,16	NO
	Giarratana	3.343	43,0	4,5	10,46	NO
	Monterosso A.	3.346	56,1	49,98	89,02	SI
	Ragusa	68.956	442,5	0,12	0,03	NO
SIRACUSA	Vittoria	55.317	181,0	13,30	7,35	NO
	Buccheri	2.320	57,7	3,88	6,73	NO
TOTALI	16 Comuni	349.177	2.375,8	739,93	31,14	8

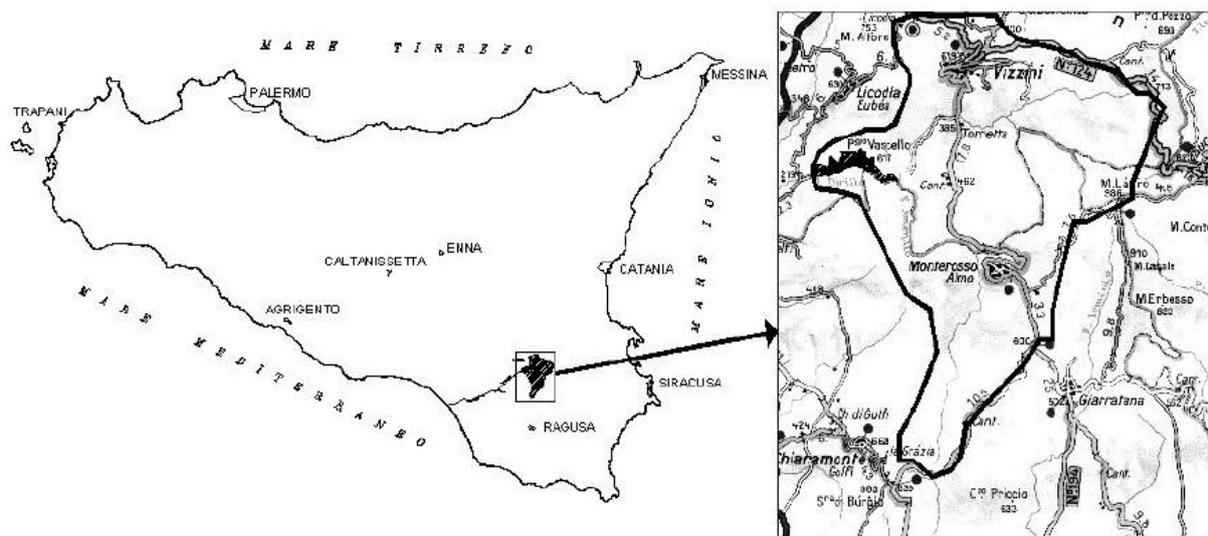


Figura 3.4- Ubicazione e del bacino idrografico sotteso dal serbatoio artificiale Ragoletto

Il bacino di alimentazione del serbatoio Ragoletto è compreso all'interno delle seguenti tavolette I.G.M. a scala 1:25.000: Tavoletta "Licodia Eubea" F° 273 III N.E.; Tavoletta "Vizzini" F° 273 II N.O.; Tavoletta "Buccheri" F° 273 II N.E.; Tavoletta "Staz. Di Vizzini Licodia" F° 273 I S.O.; Tavoletta "Giarratana" F° 273 II S.O. L'area, comprende i Comuni di Vizzini (41,5%), Monterosso Almo (26,37%), Chiaramonte Gulfi (14,52%), Buccheri (12,04%), Licodia Eubea (5,23%) e Grammichele (0,34%).

La precipitazione media annua ragguagliata nel bacino di alimentazione nel periodo 1963-2008, ottenuta utilizzando le stazioni di Licodia Eubea, Vizzini e Monterosso (gestite dal Servizio Idrografico) ubicate all'interno del bacino è risultata pari a 590 mm con un valore massimo mensile pari a 511 mm (registrato nel mese di gennaio 1985). I valori medi nel periodo della temperatura massima e minima giornaliera sono risultati pari a 22 °C e 12 °C rispettivamente. La stazione di Monterosso Almo è l'unica stazione esistente, all'interno del bacino idrografico del serbatoio Ragoletto, della quale sono disponibili sia i dati pluviometrici sia le temperatura giornaliere (Figura 3.5).

Il bacino sotteso dal serbatoio Ragoletto presenta una morfologia collinare ed una notevole variabilità dal punto di vista geologico (Carta Geologica, AGIP Petroli 2005; Appendice A).

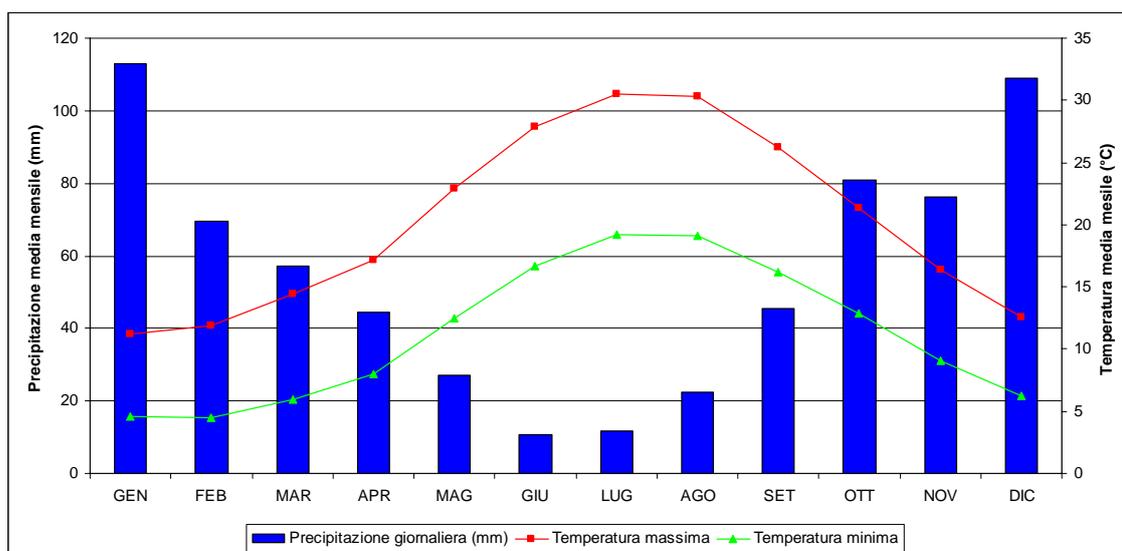


Figura 3.5 Valori medi mensile di precipitazione (mm) e temperatura registrati dalla stazione di Monterosso (667 m s.m.m.) dal 1960 al 2002

Nelle aree dove sono presenti vulcaniti e calcari compatti la morfologia si presenta alquanto aspra e movimentata; dove prevalgono le marne, i rilievi si presentano molto frastagliati con fianchi ripidi e sono presenti frequenti incisioni vallive a “V”; dove prevalgono calcari teneri, vacuolari, le superfici presentano deboli pendenze, spesso tabulari, anche se talvolta limitate da scarpate alquanto ripide. Dal punto di vista altimetrico il bacino in studio ricade in una fascia compresa tra 266 e 986 m. s.l.m. dando luogo a pendenze estremamente variabili.

Il bacino sotteso dalla diga presenta caratteristiche geologiche alquanto eterogenee. Nella zona meridionale compaiono le argille del Miocene intercalate da gessi e da ammassi di salgemma (Figura 3.7). Nella parte centrale sono presenti arenarie, argille, calcari marnosi e calcari bianchi. Infine, nella zona settentrionale, compaiono lembi di lava basaltica. I terreni del bacino sono mediamente poco permeabili e caratterizzano la natura torrentizia del Fiume Dirillo.

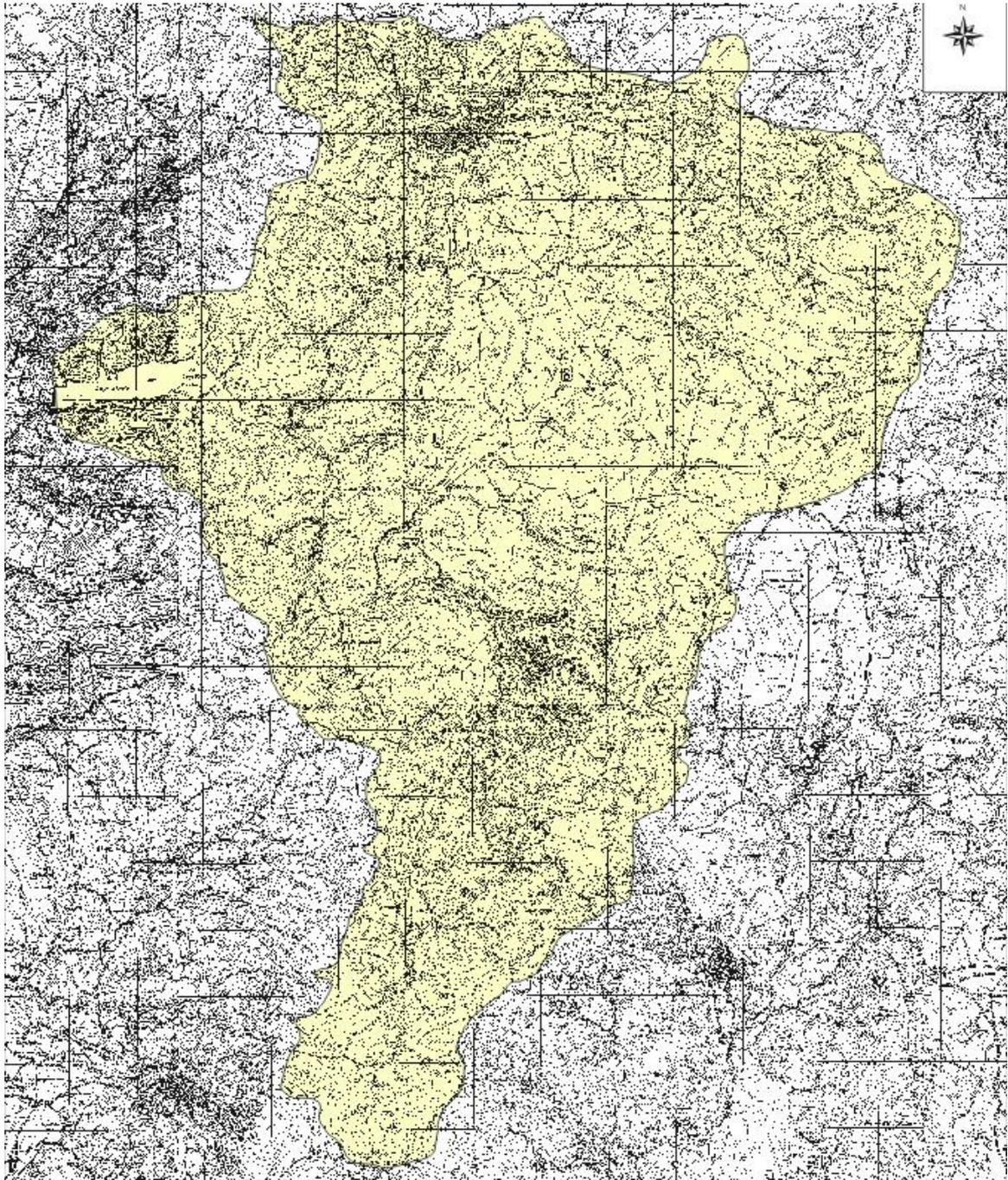


Figura 3.6 - Delimitazione del bacino Ragoletto

L'invaso è costituito da una formazione argillosa del Miocene che, verso la parte terminale, presenta intercalazioni di gessi mentre, nel fondovalle, presenta superiormente un modesto spessore di depositi alluvionali. La diga poggia su rocce calcaree mioceniche (Figura 3.8) stratificate con alternanze di livelli marnoso-argillosi



Figura 3.7 Affioramenti di argille e marne sulle sponde del serbatoio Ragoletto



Figura 3.8 Estesi affioramenti calcarei subito a valle della diga Ragoletto

Per la determinazione delle caratteristiche principali del bacino Ragoletto, è stato utilizzato uno studio commissionato dall'ente gestore AGIP Petroli – Raffineria di Gela S.p.A. e redatte nell'ottobre del 2005 per il “Progetto di gestione dell'invaso diga Dirillo”. Lo studio e le relative carte tematiche (acclività, pedologia, uso del suolo) sono state verificate e validate durante il presente lavoro, mediante rilievi di campo e raccolta di informazioni in loco.

I terreni presenti nell'area in esame, in funzione del grado e del tipo di permeabilità sono stati suddivisi in quattro classi di permeabilità (Agip Petroli, 2005). In particolare rientrano nella I classe il Detrito di falda e le frane con grado di permeabilità alto, costituiti da materiale sciolto, a volte grossolano, permeabili per porosità e fratturazione.

Alla II classe, con grado di permeabilità medio-alto, appartengono le Sabbie Gialle conglomeratiche con intercalazioni arenitiche, permeabili sia per porosità (i termini sabbiosi), che per fratturazione (quelli arenitici); le Sabbie rossastre, permeabili per porosità; le Alluvioni, permeabili per porosità; i Calcari e Gessi, permeabili per fratturazione; le Alluvioni Terrazzate, nonché le Calcareniti bianco giallastre. La permeabilità varia in funzione della matrice limosa.

Alla III classe, grado di permeabilità scarsa, appartengono i Trubi, le brecce calcaree marne e limi. La permeabilità primaria è bassa o assente, la permeabilità secondaria per fessurazione sottile abbastanza contenuta per effetto di stress tettonici subiti. Infine alla IV classe appartengono le Argille e marne argillose, con grado di permeabilità molto bassa o nulla.

Pertanto, da un punto di vista idrogeologico, nell'area in esame è possibile individuare i seguenti complessi idrogeologici:

- Complesso detritico-franoso, a permeabilità, alta, per porosità;
- Complesso vulcanico, a permeabilità, medio-alta, per fratturazione;
- Complesso alluvionale, a permeabilità, medio-alta, per porosità;
- Complesso calcarenitico, a permeabilità, medio-alta, per fratturazione;
- Complesso marnoso a permeabilità, scarsa, per fratturazione;
- Complesso argilloso a permeabilità molto bassa o nulla.

Dal punto di vista litotecnico (Carta Litotecnica, AGIP Petroli 2005; Appendice B), si può notare che la maggior parte dei terreni appartengano alla tipologia dei depositi coerenti e semicoerenti (circa il 75% del totale affiorante del territorio); questi

interessano l'area da nord a sud e da est a ovest. Il rimanente 25% è invece rappresentato da terreni coerenti e incoerenti con prevalenza dei terreni coerenti.

3.1.1 Carta delle Acclività

Come è noto una maggiore inclinazione dei versanti favorisce l'erosione superficiale ed il trasporto a valle del terreno. Nel caso di versanti con pendenze superiori al 30% 35% si possono verificare crolli o distacchi di rocce fessurate o poco cementate, come di contro versanti poco acclivi, rallentando il deflusso delle acque, favoriscono eventuali fenomeni chimici o chimico fisici di degradazione del suolo e del substrato geologico. Sono state distinte per il territorio in esame cinque classi di pendenza (Carta delle acclività, Agip Petroli, 2005; Appendice C):

Classe 1: $0\% < P < 15\%$

Classe 2: $15\% < P < 30\%$

Classe 3: $30\% < P < 45\%$

Classe 4: $45\% < P < 60\%$

Classe 5: $P > 60\%$

L'analisi della carta mostra come la maggior parte del territorio ricade nelle classi 1 e 2 con oltre il 50% delle frequenze; mentre la classe meno rappresentata è la classe 4 con circa il 7% di frequenze, mentre la rimanente porzione di territorio è diviso tra la classe 5 e la classe 3 con prevalenza per la classe 3.

3.1.2 Carta Pedologica

Il quadro pedologico ove si colloca l'area in studio (Carta pedologica, AGIP Petroli, 2005; Appendice D), comprende almeno otto tipologie di suolo, e precisamente: Litosuoli, Regosuoli, Regosuoli sabbiosi, Suoli Rendzina, Suoli bruni Vertici, Suoli Bruni Andici, Suoli Bruni, Suoli alluvionali; inoltre sono presenti delle aree dove ancora non si è formato alcun tipo di suolo, o dove l'erosione lo ha asportato interamente, denominate "Roccia affiorante". Nel seguito sono descritte le principali caratteristiche dei suoli elencati (Fierotti *et al.*, 1988).

LITOSUOLI

Il litosuolo, nell'area esaminata, è rappresentato da un suolo ai primissimi stadi di sviluppo, che evolve su roccia dura di natura calcarea, calcarenitico o vulcanica ed avente caratteri fisico-chimici che risultano fortemente condizionati dalle caratteristiche del substrato sul quale evolve. Si rinvengono in prevalenza su paesaggi montani erti ed accidentati e con scarsa copertura vegetale. Lo spessore non supera mai i 10-15 cm. Il contenuto in sostanza organica è solitamente scarso, così come in genere gli elementi della fertilità che comunque variano in dipendenza dei differenti substrati. Sulle rocce calcaree si rinvengono litosuoli ricchi in carbonati, gli elementi della fertilità e la dotazione in sostanza organica sono scarsi. Il colore, generalmente chiaro, spesso tende al bruno e in alcuni casi al rosso più o meno intenso. Sulle vulcaniti, gli elementi della fertilità fanno registrare valori bassi per l'azoto e medi per il potassio ed il fosforo. Variabile è la dotazione in sostanza organica. Il colore è nero o bruno molto scuro.

REGOSUOLI

Così come per i litosuoli, anche per i regosuoli il concetto centrale è fissato su suoli giovani, ai primi stadi di sviluppo ma, al contrario dei primi, questi evolvono su rocce tenere. Si rinvengono prevalentemente su morfologie collinari con pendici variamente inclinate, il colore può variare dal grigio giallastro chiaro al grigio bruno scuro con tutte le tonalità intermedie; lo spessore va da pochi centimetri di profondità fino a 30-40 cm. Su argille o argille marnose presentano tessitura argillosa (con un tasso medio di argilla del 40-45%) e mostrano talora caratteri vertici. La quantità di sostanza organica è di solito scarsa.

REGOSUOLI SABBIOSI

I regosuoli sabbiosi sono suoli, anch'essi come i precedenti, ai primi stadi di sviluppo i quali evolvono su substrati sciolti (sabbie), mostrano una tessitura variabile dal franco sabbioso al sabbioso. La quantità di sostanza organica è di solito scarsa.

SUOLI RENDZINA

I rendzina sono suoli mediamente profondi, che evolvono su substrati prevalentemente calcarei, solitamente su morfologie montane e più raramente piane. Si riscontrano sui principali rilievi calcarei e talora in collina su formazioni dello stesso tipo litologico.

Talora sono sostituiti dai più immaturi protorendzina ed evolventi verso suoli bruni. Se privati della vegetazione sono molto esposti a rischi erosivi. Lo spessore può raggiungere i 50 cm di profondità, con un colore variabile dal bruno molto scuro, dovuto principalmente ad una buona presenza di sostanza organica e tessitura oscillante intorno al franco, franco-argilloso, o di colore grigio-chiaro in corrispondenza di aree in erosione dove quindi è anche scarsa la concentrazione di sostanza organica.

SUOLI BRUNI VERTICI

I suoli bruni vertici che si rinvengono sui fianchi sovente degradati della collina, sono suoli con uno spessore in genere di 60 ~ 80 cm, di colore variabile dal grigio chiaro al grigio scuro con varie sfumature intermedie, ed evolvono su un substrato di natura argillo-marnosa. La percentuale in argilla varia in genere fra il 30 ~ 40% anche se, spesso, questi valori vengono superati. La tessitura argillosa e la mineralogia delle argille prevalentemente montmorillonitica, conferiscono al suolo caratteri vertici che, anche se non sono molto spinti, tuttavia contribuiscono a determinare nel suolo una certa omogeneità. La presenza di sostanza organica è di solito scarsa.

SUOLI BRUNI ANDICI

Sono suoli caratteristici degli ambienti dominati da un substrato di origine vulcanica che, in modo più o meno intenso, conferisce particolari caratteristiche andiche ai suoli. I suoli bruni andici presentano uno spessore che può anche raggiungere e superare i 60 cm. In generale la dotazione in sostanza organica risulta buona.

SUOLI BRUNI

Si rinvengono su substrati vari (calcari; serie gessoso-solfifera; argille; calcareniti; marne calcaree; altri). Trattasi di suoli abbastanza profondi che possono anche raggiungere e superare i 100 cm. Di colore bruno scuro, la presenza di sostanza organica è variabile, ma oscillante su valori medio bassi.

SUOLI ALLUVIONALI

Si sviluppano su un substrato di natura alluvionale. Sono suoli, generalmente, maturi e profondi, il cui contenuto di sostanza organica è variabile ma oscillante su valori medio bassi.

ROCCIA AFFIORANTE

Nell'area in esame sono presenti alcune aree dove non si ha la presenza di suolo. Tali aree nella carta pedologica sono indicate col termine di "roccia affiorante". Queste aree sono caratterizzate dall'affioramento del substrato, che ancora non presenta la formazione di alcun tipo di suolo. Nell'area in esame è rappresentata prevalentemente da: calcari, calcareniti, vulcaniti, arenarie e argille.

Per ciascun tipo di suolo, la tessitura e la quantità di sostanza organica presente sono state determinate attraverso l'analisi dei 18 campioni prelevati nel bacino Ragoletto (Agip Petroli, 2005; Tabella 3.2).

Tabella 3.2. Analisi dei campioni di suolo prelevati nel Bacino Ragoletto (AGIP Petroli, 2005)

		SABBIA	LIMO	ARGILLA	SOST. ORGANICA
1	LITOSUOLI DI NATURA CALCAREA				
	CAMPIONE C8	57.60%	16.00%	26.40%	2.50%
	CAMPIONE C11	39.00%	20.00%	41.00%	3.90%
	MEDIA	48.30%	18.00%	33.70%	3.20%
2	LITOSUOLI DI NATURA VULCANICA				
	CAMPIONE C7	59.60%	18.00%	22.40%	1.18%
	CAMPIONE C13	39.00%	24.00%	37.00%	5.60%
	MEDIA	49.30%	21.00%	29.70%	3.39%
3	REGOSUOLI				
	CAMPIONE C3	31.00%	18.00%	51.00%	1.52%
	CAMPIONE C17	21.00%	26.00%	53.00%	1.50%
	MEDIA	26.00%	22.00%	52.00%	1.51%
4	REGOSUOLI SABBIOSI				
	CAMPIONE C6	95.60%	4.00%	0.40%	0.56%
	CAMPIONE C15	33.00%	28.00%	39.00%	1.20%
	MEDIA	64.30%	16.00%	19.70%	0.88%
5	SUOLI RENDZINA				
	CAMPIONE C9	55.60%	16.00%	28.40%	1.08%
	CAMPIONE C10	31.00%	22.00%	47.00%	1.50%
	MEDIA	43.30%	19.00%	37.70%	1.29%
6	SUOLI BRUNI ANDICI				
	CAMPIONE C1	57.60%	8.00%	34.40%	2.53%
	CAMPIONE C16	29.00%	20.00%	51.00%	2.00%
	MEDIA	43.30%	14.00%	42.70%	2.27%
7	SUOLI BRUNI VERTICI				
	CAMPIONE C2	53.60%	18.00%	28.40%	1.81%
	CAMPIONE C18	27.00%	16.00%	57.00%	1.55%
	MEDIA	40.30%	17.00%	42.70%	1.68%
8	SUOLI BRUNI				
	CAMPIONE C5	43.60%	16.00%	40.40%	0.85%
	CAMPIONE C12	31.00%	18.00%	51.00%	1.80%
	MEDIA	37.30%	17.00%	45.70%	1.33%
9	SUOLI ALLUVIONALI				
	CAMPIONE C4	55.60%	14.00%	30.40%	4.01%
	CAMPIONE C14	73.00%	12.00%	15.00%	1.70%
	MEDIA	64.30%	13.00%	22.70%	2.86%

3.1.3. Carta dell'uso del Suolo

L'analisi della carta di uso del suolo ha permesso di distinguere (Carta dell'uso del suolo, Agip Petroli, 2005; Appendice E):

- 1) terreni seminativi, indicati col termine seminativo semplice;
- 2) pascolo, aree degradate e/o incolte indicati con pascolo/incolto;
- 3) colture arboree (uliveto, agrumeto, mandorleto, ecc.) indicate semplicemente come arborato;
- 4) aree boscate;
- 5) vigneti;
- 6) aree urbanizzate.

Dall'analisi della Carta si evidenzia la presenza di due principali aree boschive, caratterizzate da alberi di sughero, lecci, estesi rimboschimenti a pino d'aleppo (Figura 3.8) ed eucalipti.

L'arborato individua le porzioni di terreno agricolo a cui è associata una coltura arborea (es. olivo, carrubo, mandorlo, ecc.), che può essere utilizzato anche a pascolo (Figura 3.9). Il seminativo semplice, si riferisce ad aree coltivate principalmente a frumento, orzo, granturco, sulla e veccia, dove si attua la "rotazione", e comunque in modo estensivo. Le stesse possono anche essere utilizzate a pascolo.



Figura 3.9 Seminativi e rimboschimenti a pini mediterranei lungo i versanti del serbatoio Ragoletto

I vigneti sono sparsi un po' ovunque sul territorio, specie in corrispondenza di aree subpianeggianti o poco acclivi.

L'incolto e/o pascolo, comprende quelle aree dove:

- a) pur non essendo destinate a colture, la vegetazione spontanea e il grado di acclività consentono il pascolo;
- b) dove è presente una vegetazione spontanea di tipo arbustivo pabulabile;
- c) in aree parzialmente denudate e molto acclivi, nelle quali, oltre a svilupparsi una vegetazione spontanea (macchia mediterranea), non è possibile l'utilizzo a pascolo
- d) i versanti in roccia, specie se caratterizzati dalla presenza di scarpate o da elevati valori di pendenza, che presentano vegetazione rupestre e/o pioniera.

Nelle aree incolte e/o a pascolo le specie vegetali più diffuse sono: il lentisco, il rovo, l'oleastro, qualche raro carrubo, l'asfodelo, il cardo mariano, l'erica, il capperò, il *Cytisus scoparius*, l'asparago, ecc. (Figura 3.10).

Nella carta dell'uso del suolo, sono state individuate le direzioni di aratura prevalenti. In generale, si rileva che in tutte le aree a seminativo ed arborate, con pendenza maggiore



Figura 3.10 Vegetazione a macchia mediterranea e formazioni a pino d'Aleppo lungo le rive del serbatoio Ragoletto

del 15% le direzioni di aratura sono parallele alle linee di massima pendenza, ciò evidentemente porta ad un'azione erosiva più incisiva delle acque ruscellanti (Figura 3.11) mentre nelle aree con pendenza minore del 15% le direzioni prevalenti di aratura sono perpendicolari alle linee di massima pendenza, e in queste aree l'azione erosiva delle acque ruscellanti è frenata dai solchi di aratura. In Figura 3.12 la Carta delle tipologie Forestali edita dal S.I.F (Servizio Informativo Forestale della Regione Siciliana, www.sif.regione.sicilia.it) riporta le tipologie vegetali prevalenti nel territorio in esame.



Figura 3.11 Aree denudate e a pascolo soggette a estesi fenomeni erosivi

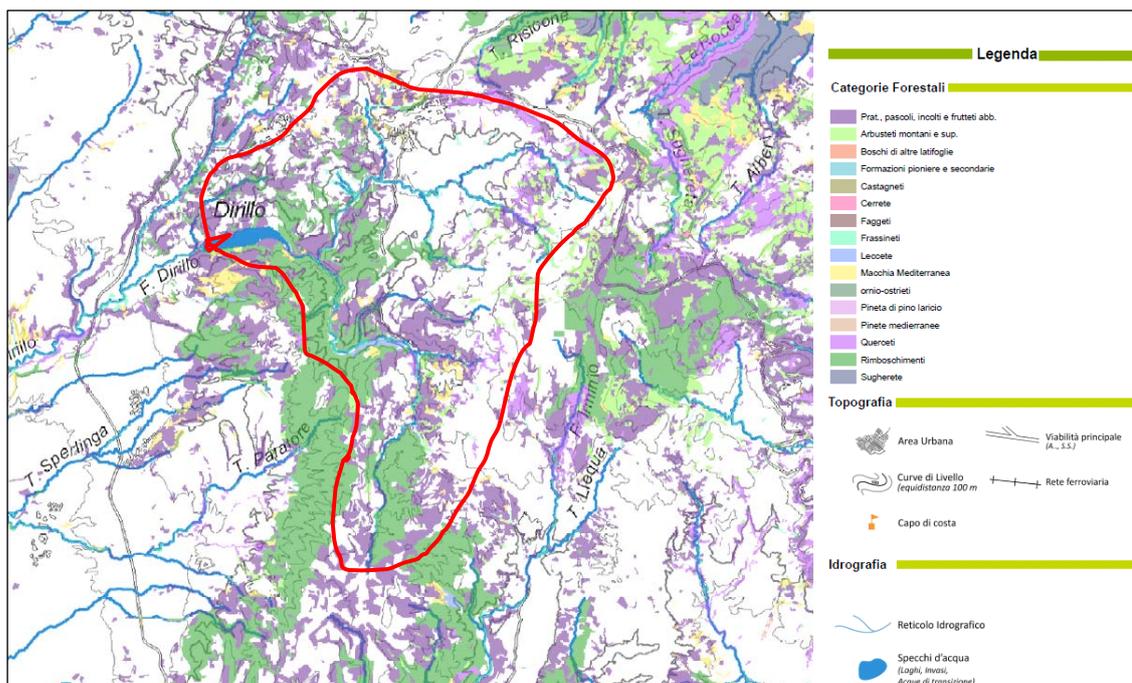


Figura 3.12 Carta delle Categorie Forestali. In rosso evidenziata l'area del bacino Ragoleto

3.2 Analisi della risposta idrologica del bacino Ragoletto

3.2.1 Metodologia di stima dei deflussi

I volumi defluiti mensilmente dalla diga Ragoletto (V_i), dal 1963 al 2009, sono stati valutati mediante l'applicazione dell'equazione di bilancio, in funzione della differenza tra i volumi invasati alla fine del periodo considerato (I_i) e dalla fine del periodo precedente (I_{i-1}), nonché dei volumi derivati (U_i) tenendo anche conto delle perdite per evaporazione (E_i) e delle perdite (P_i) per altre cause (sfiori, scarichi, infiltrazioni nel corpo diga, ecc.).

L'equazione di bilancio idrico utilizzata, per il generico mese i -esimo, risulta pertanto:

$$V_i = I_i - I_{i-1} + U_i + E_i + P_i$$

I volumi invasati sono stati calcolati sulla base delle misure di quota di invaso (disponibili dal 1963 al 2009) rilevate all'inizio di ogni mese, e delle relazioni quote – volumi del serbatoio relative agli anni 1961 (curva di progetto), 1980, 1996, 2007 e 2009 (Barbagallo et al., 2010). Tali relazioni si modificano durante l'esercizio a causa dell'interrimento e dell'erosione delle sponde (Penta, 1980), come riscontrato in altri serbatoi siciliani (Tamburino et al. 1989).

Nella figura 3.13 viene riportata la relazione altezze-volumi del serbatoio relativa ai rilievi del 1960 (curva di progetto), del 1980, del 1996, del 2005, del 2007 e del 2009. Da tale confronto risulta evidente la sostanziale modifica della relazione suddetta a causa dell'interrimento che ha raggiunto il valore di circa $2,3 \text{ Mm}^3$ superando il volume "morto" previsto dal progetto esecutivo (pari a $1,3 \text{ Mm}^3$). Occorre evidenziare che le relazioni quote-volumi, relative ai rilievi del 2007 e del 2009, risultano pressoché coincidenti, essendo stato rilevato nel periodo intercorso fra i due rilievi, un interrimento molto modesto pari a circa 3600 m^3 .

Per quanto concerne i volumi derivati (U) sono stati utilizzati dati forniti dall'ente gestore del serbatoio. Le perdite per evaporazione (E) sono state stimate moltiplicando per ciascun mese l'altezza di evaporazione per la superficie (media del mese) dello specchio liquido.

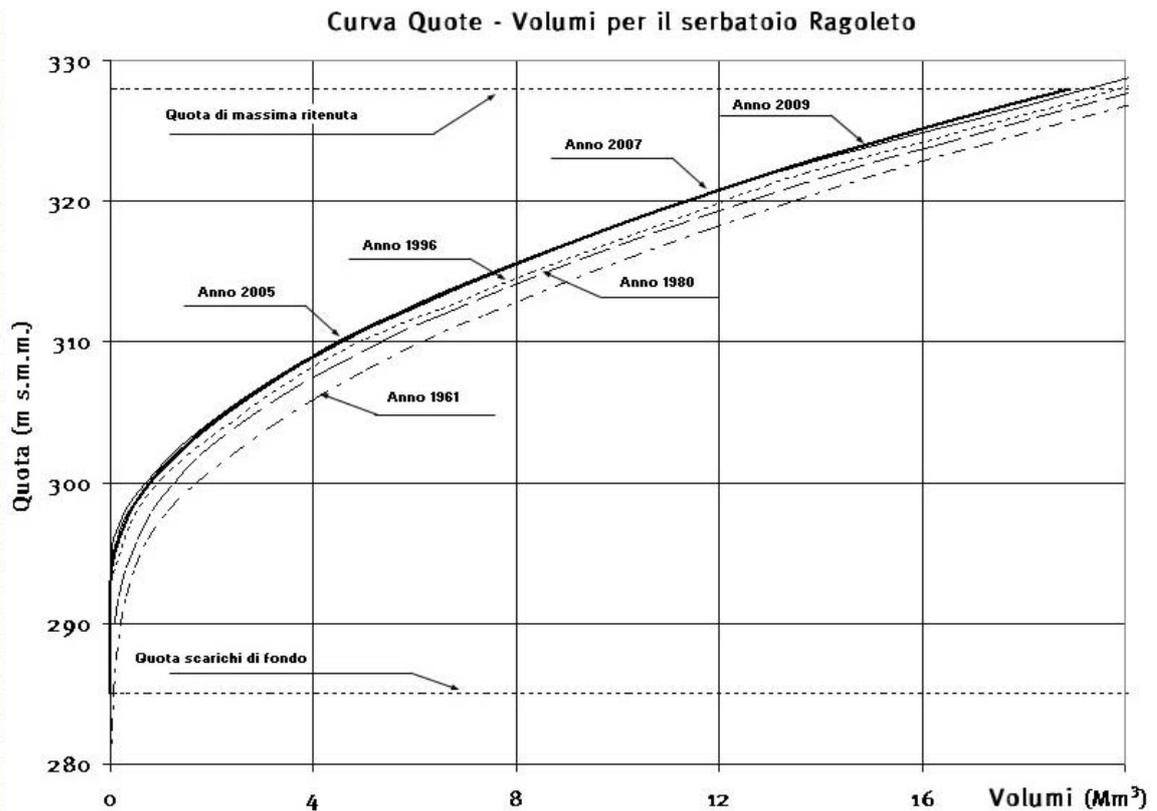


Figura 3.13 - Curve quote-volumi del serbatoio artificiale Ragoletto

L'altezza di evaporazione mensile è stata stimata sulla base delle temperature (T) medie mensili dell'aria (ricavate dallo strumento installato presso la diga) utilizzando la seguente formula empirica ricavata da Indelicato (1968) per l'ambiente siciliano:

$$E = 0,38 T^{1,93}$$

con E espresso in mm/mese e T in °C.

Gli errori commessi nel calcolo dell'altezza di evaporazione sono dovuti sia agli inevitabili limiti di validità della relazione empirica, sia ad imprecisioni nei dati di temperatura media. In ogni caso, la relazione empirica utilizzata, ad una comparazione con altre due relazioni empiriche (Conti-Romita e Visentini) risulta la più rispondente alle condizioni climatiche studiate (Indelicato 1989).

I valori medi mensili di temperatura dell'aria utilizzati per il calcolo delle altezze di evaporazione possono essere affetti da errori commessi nella lettura del dato e/o nel calcolo del valore medio. L'influenza sull'altezza di evaporazione di un eventuale errore dipende dal tipo di formula utilizzata e può essere valutata effettuando la derivata

dell'altezza di evaporazione rispetto alla temperatura; nel caso della formula utilizzata ad un errore di 1° C corrisponde un errore relativo sull'altezza di evaporazione pari a $1,93/T$ (°C). Tale errore relativo risulta pertanto più elevato per bassi valori di temperatura.

L'errore nella stima della superficie liquida è dovuto essenzialmente alla imprecisa conoscenza della relazione quote-aree del serbatoio. I maggiori errori relativi nella stima della superficie liquida vengono generalmente commessi alle quote più basse del serbatoio, dove l'interrimento esercita una maggiore influenza; l'errore relativo sugli altri elementi del bilancio (deflussi o derivazioni) risulta limitata sia perché alle basse quote l'area occupata dallo specchio liquido è sempre modesta sia perché in generale l'invaso del serbatoio scende ai livelli più bassi nel periodo autunnale in cui si verificano piccole altezze di evaporazione.

Le perdite per sfiori e scarichi che si sono verificate quando il serbatoio si è riempito completamente, ovvero durante le cacciate dallo scarico fondo. I dati relativi agli sfiori, peraltro verificatesi raramente, sono stati forniti dall'ente gestore. Incerta risulta invece l'attribuzione dei volumi alle cacciate di fondo.

La frequenza di tale cacciate, eseguite con lo scopo di far defluire i sedimenti accumulatisi in prossimità degli scarichi di fondo, sono mediamente annuali dal 1963, anno di entrata in esercizio della diga, al 1992. Dal 1992 al 1995 non risultano effettuate delle cacciate in conseguenza dell'accumulo di notevolissime quantità di detriti, asportati successivamente con il dragaggio. La ripresa delle cacciate annuali è registrata dal 1995 al 2004 e successivamente, con frequenza media di quattro cacciate annue, dal 2006 ai giorni nostri. Non è possibile comunque stimare i volumi di acqua defluiti e pertanto tale termine del bilancio idrico del serbatoio risulta ignota. Non risultano dati relativi ad eventuali infiltrazioni di acqua nel fondo e/o nelle pareti del corpo diga.

In figura 3.14 sono rappresentati i dati dei deflussi annuo registrati dal 1980 al 2008. I valori di deflusso utilizzati sono riportati in Appendice G.

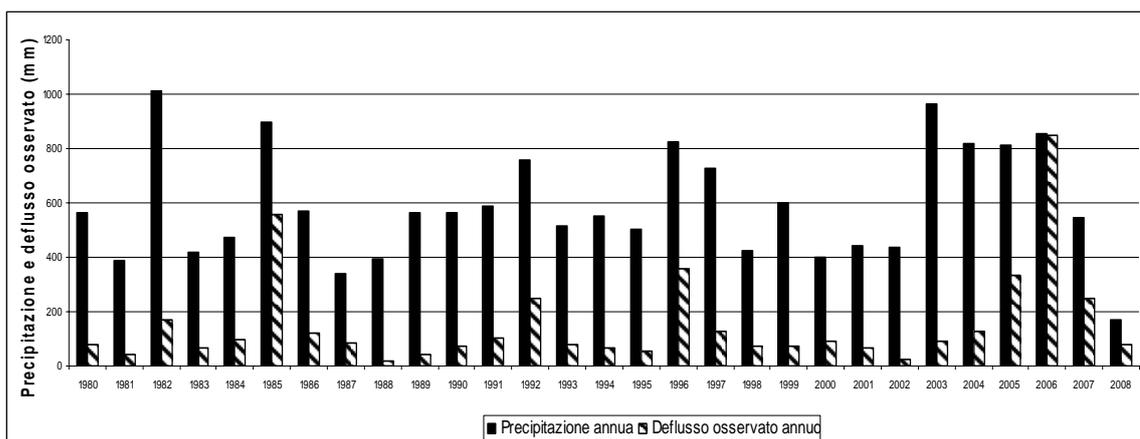


Figura 3.14 - Deflusso annuo registrati dal 1980 al 2008 nel bacino sotteso dal serbatoio Ragoletto

3.2.2. Valutazione del tempo di corrivazione

La valutazione dei tempi di corrivazione è stata condotta utilizzando formule note in letteratura applicabili nel caso in esame (Tabella 3.4). I parametri utilizzati sono stati i seguenti (Tabella 3.3):

Tabella 3.3 - Caratteristiche morfometriche principali del bacino Ragoletto

Area del bacino (A):	117,5 km ²
Quota media del bacino (rispetto alla sezione di chiusura) (h):	250,4 m s.l.m.
Dislivello dell'asta principale (d):	660 m s.l.m.
Pendenza media del bacino :	11,58 gradi
Lunghezza dell'asta principale estesa fino allo spartiacque (L):	20,35 km
Pendenza media percentuale dell'asta principale (i_a):	6,33 %

I tempi di corrivazione ottenuti sono tra 4.45 e 5.84 h con un valore medio pari a 5.14 h.

Tabella 3.4 – Tempo di corrivazione del bacino Ragoletto (quota sezione di chiusura 328 m s.l.m.m.).

Autore	Modello	Tempo di corrivazione (h)
Giandotti	$tc(ore) = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{h}}$	5.84
Puglisi	$tc(ore) = 6 \frac{L^{0,667}}{d^{0,333}}$	5.14
Pezzoli	$tc(ore) = 0,055 \frac{L}{i_a^{0,5}}$	4.45

Dove:

A = area del bacino in Km²

L = lunghezza asta principale del corso d'acqua, esteso fino allo spartiacque, in Km.

h = altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura, in m.

d = dislivello dell'asta principale in m

i_a = pendenza media dell'asta principale

3.2.3 Correlazione afflussi - deflussi

La correlazione afflussi – deflussi valutata per il bacino di alimentazione del serbatoio Ragoletto è mostrata in Figura 3.15. I deflussi sono risultati ben correlati con gli afflussi ($R^2=0.66$) mediante una equazione polinomiale del 2° ordine. Il coefficiente di deflusso medio mensile è risultato pari a 0.17 nell'intero periodo (1980-2008), raggiungendo il valore massimo nel quinquennio 1990-1994 (0.21) e il minimo nell'ultimo periodo di osservazione 2005-2008 (0.13). Questo potrebbe essere dovuto almeno in parte alla modifiche sull'uso del suolo (ritiro dei seminativi, effetto della riforestazione, ecc)

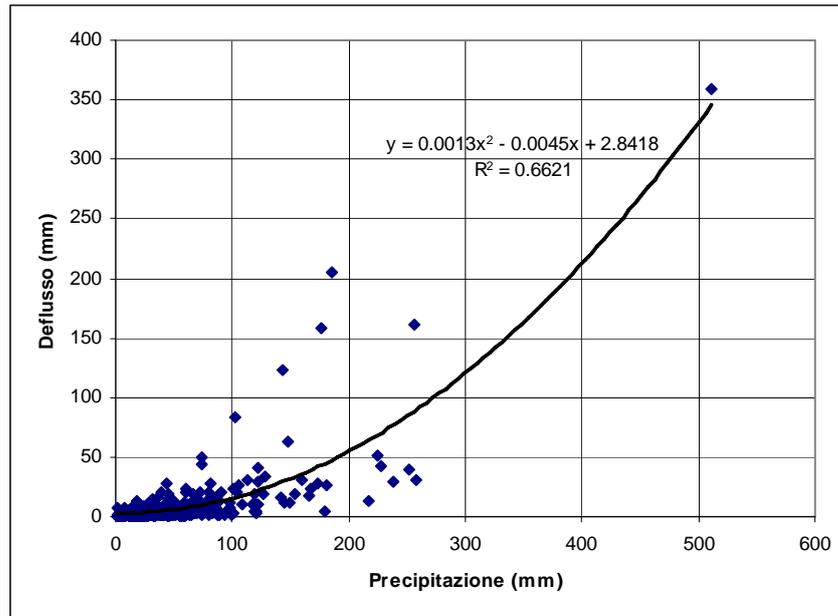


Figura 3.15 Correlazione tra precipitazione mensile ragguagliata sul bacino di alimentazione e deflussi mensili al serbatoio Ragoletto

Sono state inoltre elaborate le curve precipitazione-deflusso cumulate da gennaio a dicembre utilizzando i valori medi mensili nel quinquennio (Figura 3.16). Il valore massimo (142 mm) di deflusso annuo medio si è registrato nel periodo 2005-2008, mentre il minimo (78 mm) si è avuto nel quinquennio 2000-2004.

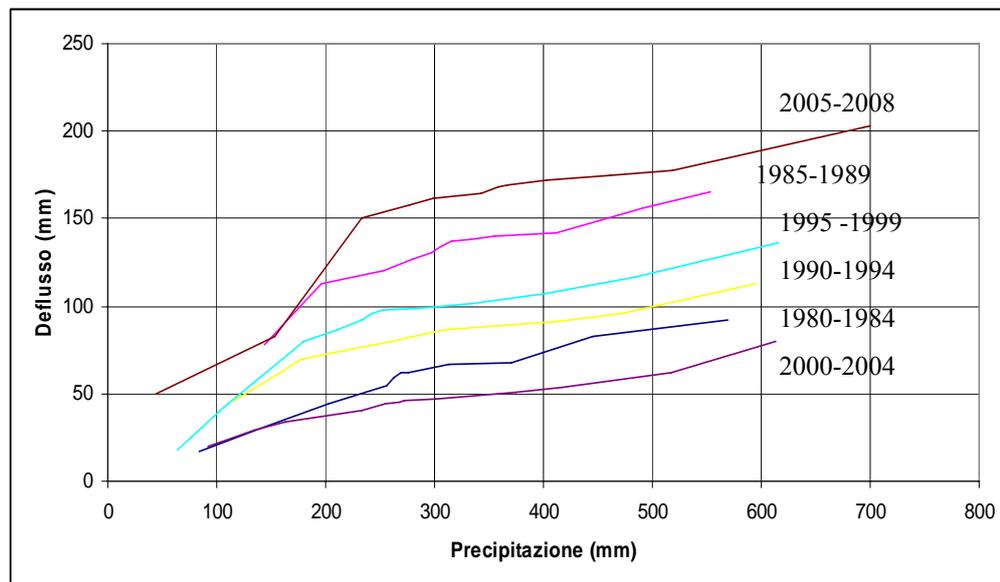


Figura 3.16 Cumulate annue delle precipitazioni mensili medie in un quinquennio e dei corrispondenti deflussi mensili medi

3.3 Analisi dell'interrimento della diga Ragoletto

3.3.1 Cenni sui più recenti metodi di rilievo batimetrico

Di seguito vengono descritte alcune tra le più recenti tecnologie di rilievo batimetrico, tra cui quello utilizzato nel serbatoio Ragoletto, che permettono di realizzare modelli batimetrici tridimensionali ad alta risoluzione, anche se con costi di esecuzione più elevati.

Sistema di rilievo batimetrico Multibeam

L'attuale tecnologia sonar, applicata al settore dei rilievi morfo-batimetrici, consente oggi di ottenere risultati di notevole livello non facilmente raggiungibili ancor fino a pochi anni fa (Figura 3.17). La restituzione dei rilievi eseguiti, consente visualizzazioni di immagini di grande interesse per il livello dei dettagli rappresentabili e ottenibili anche in caso di alta torbidità delle acque. In funzione della sua apertura angolare, uno strumento si differenzia dall'altro per la superficie di fondale marino rilevabile durante la navigazione

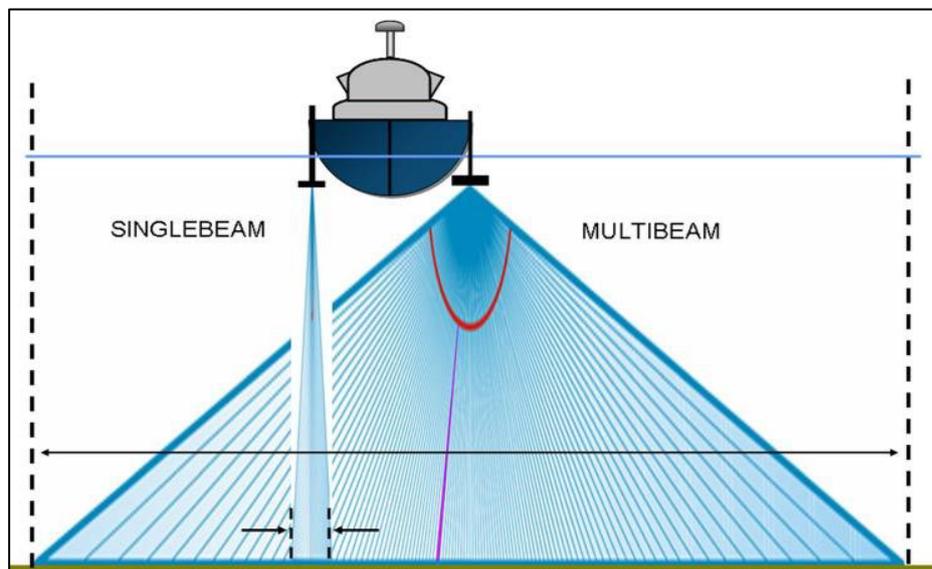


Figura 3.17 Sistema di rilievo batimetrico (Multibeam)

La spaziatura tra i singoli beams, a sua volta, determina il grado di risoluzione spaziale con cui uno strumento è in grado di discernere gli oggetti presenti sul fondo. Uno

strumento con una spaziatura di 0.5° sarà in grado di rilevare anche una piccola condotta presente sul fondo.

Un altro elemento caratteristico dei sistemi multibeam è la loro frequenza operativa in funzione della quale uno strumento è in grado di rilevare fondali di differenti profondità.

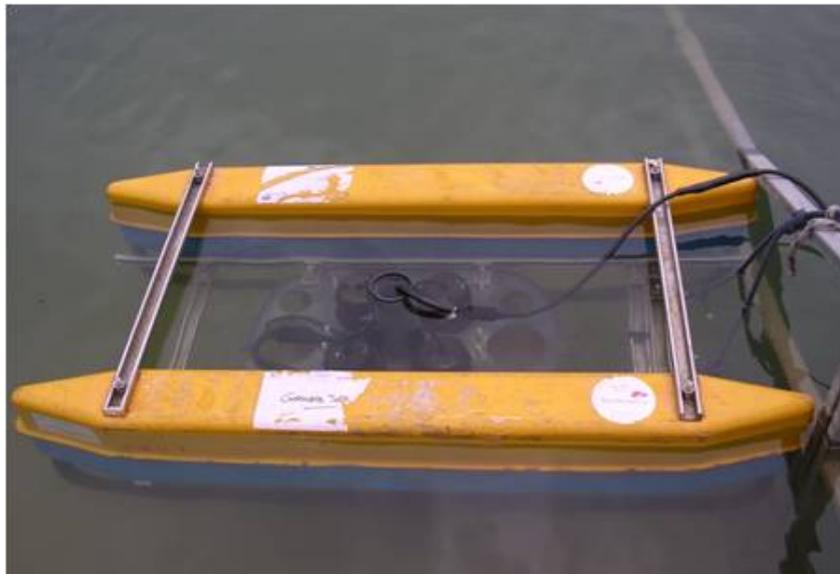


Figura 3.18 Sub bottom profiler

Il sistema multibeam è un sistema innovativo che consente di avere una mappatura ad alta definizione del fondale marino investigato. Rispetto alle classiche metodologie di rilievo batimetrico con un normale ecoscandaglio singlebeam, questa tecnica si caratterizza per la notevole mole di dati misurati nella stessa unità di tempo.

Sostanzialmente, tale strumento, non è altro che un ecoscandaglio il quale, anziché misurare una sola profondità, ne misura 60, 100 o 240 contemporaneamente (a seconda dell'apertura angolare dello strumento). Tecnicamente, esso può essere descritto come un sonar acustico che rileva le distanze tra il trasduttore ed il fondale marino o qualsiasi altro target presente sul fondo. Il trasduttore del sistema è composto da tanti ricevitori che rilevano l'eco di ritorno proveniente dal suono emesso dal trasmettitore e riflesso dal fondo.

Recentemente, a questo tipo di strumentazione, per lo studio della stratigrafia dei fondali di un'area da investigare, l'ecoscandaglio single o multi beam che sia, viene interfacciato con il *Sub Bottom Profiler* (SBP) (profilatore di sedimenti) (Figura 3.18).

Questo sistema permette di identificare la sequenza litostratigrafica presente sul fondale marino. Il principio di funzionamento è basato sulla diversa velocità di propagazione del suono all'interno dei sedimenti; maggiore è la velocità, più marcata risulterà la risposta acustica.

La penetrazione e la riflessione dipendono sia dalle proprietà fisiche del materiale attraversato, che dalla potenza e dalla frequenza portante del segnale. Il sistema si avvale della tecnologia digitale "Chirp" avanzata per produrre immagini ad alta risoluzione. Il sistema S.B.P. è sempre costituito da una unità hardware che rimane a bordo dell'imbarcazione che registra e processa le informazioni acquisite e da un trasduttore racchiuso in un involucro pesciforme che viene immerso in mare fissato alla barca o portato a traino (Figura 3.19)

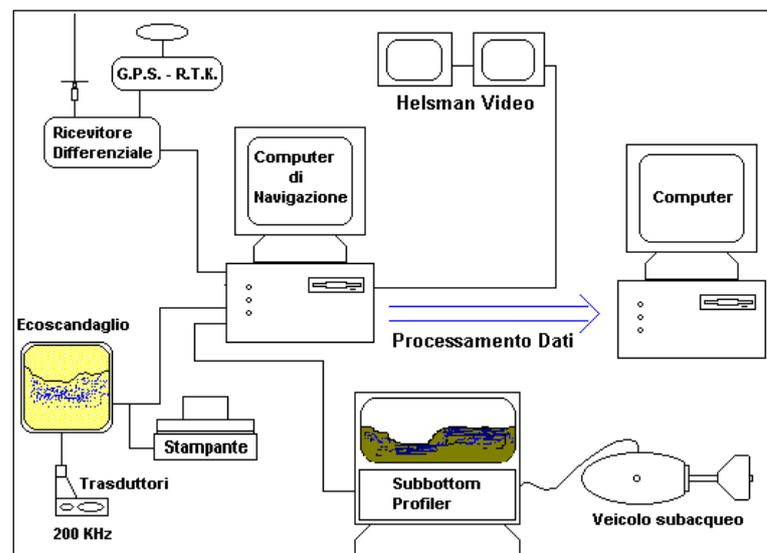


Figura 3.19 Schema di funzionamento del sistema batimetrico stratigrafico

Sistema Laser Scanner

Il laser scanner è tra i più rapidi ed innovativi sistemi, esistenti a livello internazionale, per la ricognizione e la restituzione della batimetria di costa (Figura 3.20). Il sistema utilizza impulsi laser emessi nelle lunghezze d'onda dell'infrarosso e del verde, attraverso due diodi laser collocati su una piattaforma stabile montata all'interno di un aeromobile

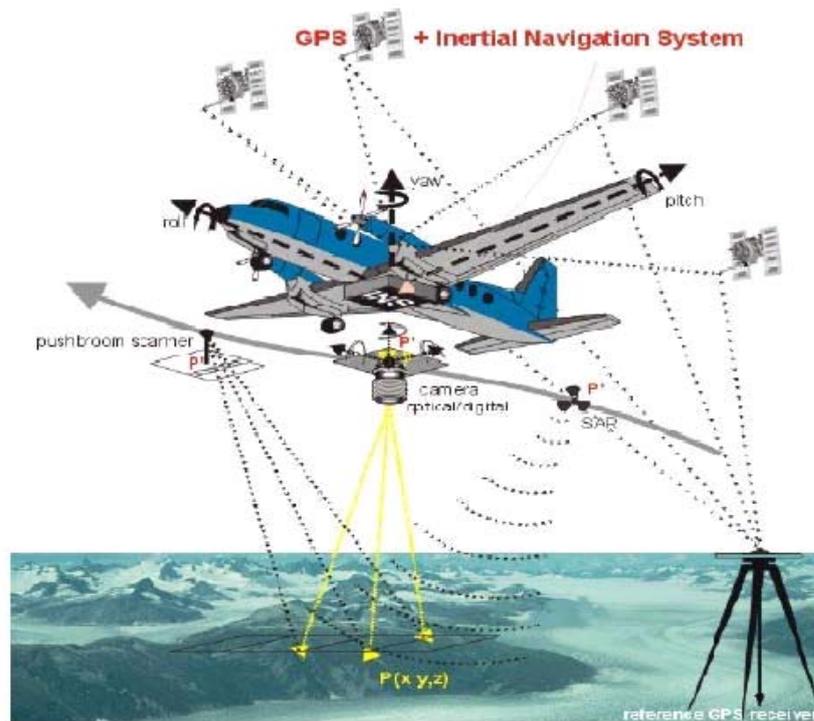


Figura 3.20 Sistema di rilievo con Laser

La differenza nei ritorni tra l'impulso nell'infrarosso, riflesso dalla superficie dell'acqua e quello nella lunghezza d'onda del verde, riflesso dal fondo del mare, offre la possibilità di calcolare il battente d'acqua ricavando la batimetria dei fondali. Il sistema generalmente è in grado di restituire i dati con differenti risoluzioni: a maglia regolare di 6 metri per 6 metri fino a griglie di 2 metri per 2 metri in casi particolari. I dati raccolti durante il rilievo vengono poi processati e controllati a terra, attraverso l'utilizzo di software dedicati. Ogni impulso registrato dal sistema viene corretto in base ai dati di marea, georeferenziato e depurato da eventuali disturbi e interferenze.

Il rilievo Radar altimetrico

I sistemi radar utilizzano l'energia a microonde per rivelare e visualizzare oggetti anche in condizioni (distanza, visibilità, ecc.) proibitive per l'occhio umano. Il radar invia una forma d'onda nota sull'oggetto e rivela l'energia di ritorno (eco) al fine di ottenere informazioni sulla distanza, velocità e dimensioni dell'oggetto investito.

Il radar altimetrico (Figura 3.21) è progettato per effettuare misure accurate dell'altezza del satellite rispetto alla superficie marina, che può essere immediatamente convertita in altezza della superficie marina rispetto ad un ellissoide di riferimento ed al geoide marino.

3.3.2. Metodologia di rilievo adottata nel bacino Ragoletto

La metodologia utilizzata, si basa sull'impiego di un gommone equipaggiato con un sistema di posizionamento satellitare GPS (Global Positioning System), operante in modo differenziale per la rilevazione delle coordinate planimetriche e con un ecoscandaglio singlebeam per la misura della profondità, il cui trasduttore è stato montato a poppa in linea con l'antenna GPS; la strumentazione utilizzata comprende anche una stazione GPS fissa e un software GIS.

Come noto, il principio di funzionamento del GPS è basato sul metodo della triangolazione, utilizzato in topografia e geodesia per la determinazione della posizione di punti notevoli. Sfruttando questo metodo, si può determinare la posizione di un punto sulla superficie terrestre a partire dalla misura della distanza del punto rispetto a quattro satelliti in orbita. Per misurare la distanza di un satellite si misura il tempo impiegato dal segnale a compiere il percorso satellite – ricevitore e lo si moltiplica per la velocità della luce.

Il principio su cui si basa il sistema differenziale, è quello di correggere gli errori dovuti ai ritardi del segnale tramite la misurazione degli stessi errori in un punto di coordinate note. Infatti, se due ricevitori sono ragionevolmente vicini sulla terra (ad una distanza

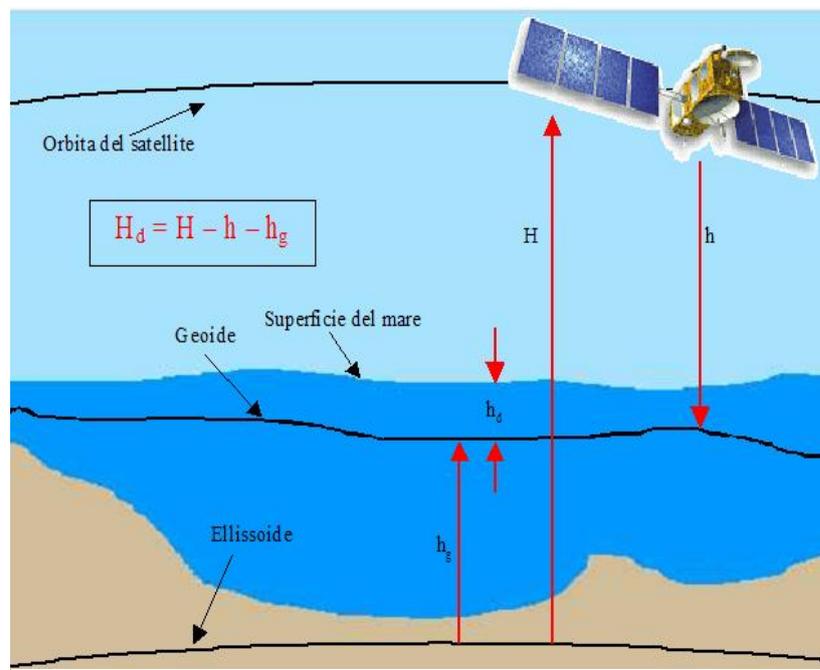


Figura 3.21 Radar altimetrico

che non superi i 100 Km), il segnale che entrambi ricevono avrà viaggiato virtualmente seguendo lo stesso percorso nell'atmosfera e perciò avrà virtualmente lo stesso errore. La stazione fissa, di coordinate note, riceve quindi lo stesso segnale della stazione mobile ma, invece di utilizzare il tempo impiegato dal segnale per calcolare la posizione, utilizza la conoscenza della sua posizione per calcolare l'errore nel tempo (Figura 3.14). In tal modo viene calcolato il ritardo teorico del segnale, che viene confrontato con quello effettivamente ricevuto. La differenza costituisce il fattore di correzione per gli errori sistematici che la stazione trasmette al ricevitore.

Il sistema di posizionamento GPS differenziale impiegato per il rilievo batimetrico del serbatoio Ragoletto è basato sull'utilizzo contemporaneo di due ricevitori: uno mobile installato sul natante e uno fisso a terra ubicato presso la sede della Facoltà di Agraria in un punto di coordinate note. Le coordinate del ricevitore mobile, determinate rispetto al sistema geodetico di riferimento WGS84, vengono successivamente corrette utilizzando i dati raccolti dalla stazione fissa (Figura 3.22).

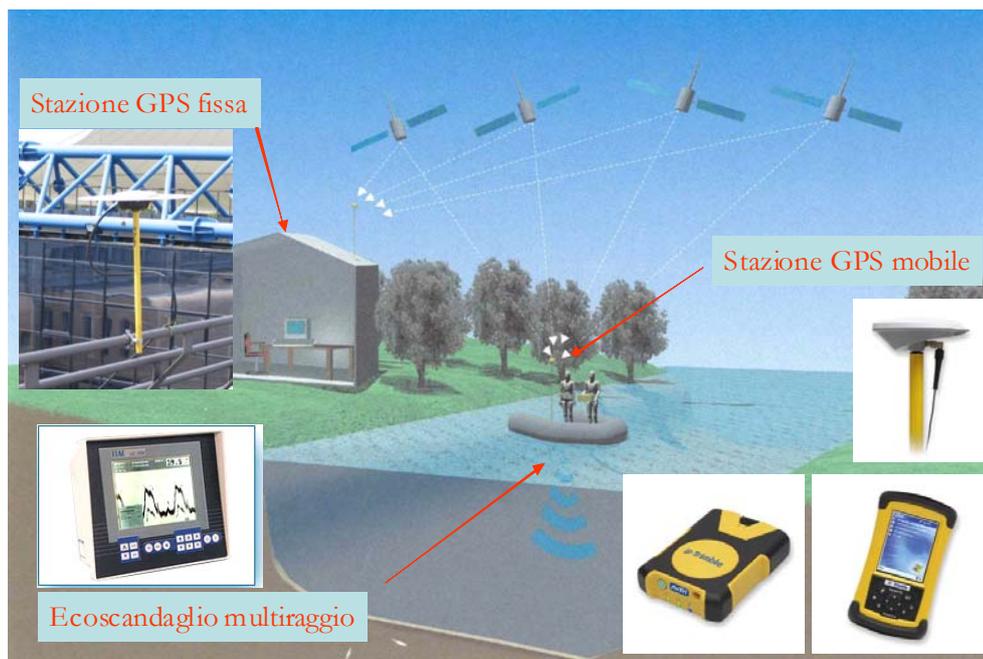


Figura 3.22 Schema di rilevazione batimetrica con GPS operante in modo differenziale ed ecoscandaglio

Le apparecchiature utilizzate consentono di ottenere una precisione delle coordinate planimetriche, secondo le specifiche fornite dal costruttore, inferiore al decimo di metro. Il sistema ricevente fisso del GPS, costituito da una antenna e da un modulatore alimentato con corrente continua a 12 V, modello 39442-20-ENG, è stato installato presso l'edificio del Dipartimento di Ingegneria Agraria dell'Università di Catania che

dista meno di 100 chilometri dall'invaso preso in esame. La stazione fissa è stata interfacciata con un elaboratore in grado di registrare le proprie coordinate, dedotte dalle varie configurazioni satellitari, durante tutto il periodo del rilievo in campo. Queste coordinate vengono confrontate con quelle note della stazione stessa permettendo di stimare gli errori da utilizzare per la correzione differenziale dei dati rilevati in campo. Il sistema ricevente mobile del GPS, dotato di un'antenna potenziata di tipo Zephyr, è costituito da un ricevitore Pathfinder modello 52250-00 e da un palmare Trimble Recon modello 51960-10, dotato di Compact flash card di un GB per la memorizzazione dei dati, interfacciati tra loro mediante standard di comunicazione basati su tecnologia wireless Bluetooth[®]. Esso è stato alloggiato su una imbarcazione a motore (Figure 3.23; 3.24). I dati di posizione sono stati registrati sullo stesso sistema mobile.



Figura 3.23 Imbarcazione utilizzata per i rilievi batimetrici



Figura 3.24 Strumentazione a bordo (sinistra) Antenna GPS installata sul gommone coassialmente all'ecoscandaglio utilizzato per i rilievi batimetrici sul serbatoio Ragoletto (destra).

Il sistema è stato completato collegando, mediante interfaccia tipo DAZ 25 – RS 422 rispondente agli standard di navigazione NMEA 0183, alla stazione mobile un

ecoscandaglio elettronico tipo LAZ 5000 – Honeywell Elac munito di trasduttore posizionato coassialmente all'antenna del ricevitore mobile GPS (ed alimentato con corrente alternata a 220 V; tale collegamento è stato effettuato fissando il protocollo di trasmissione per entrambi gli strumenti a 8N1 con una velocità di trasmissione di 9600 Baud. L'ecoscandaglio impiegato consente di effettuare misure con scansioni temporali di ½, 1, 2 e 3 secondi con un errore massimo, secondo le specifiche fornite dal costruttore, inferiore al 2% della profondità.

Per il rilievo batimetrico del serbatoio Ragoletto (Figura 3.25), l'imbarcazione ha seguito rotte il più possibile rettilinee, parallele al corpo diga e progressivamente sempre più distanti da esso fino a coprire tutto lo specchio liquido del serbatoio; un'altra rotta è stata seguita mantenendosi il più possibile vicino alle sponde, in modo da definire con precisione il perimetro del lago alla quota nota (Figura 3.26, 3.27).



Figura 3.25 Navigazione sul serbatoio Ragoletto durante la campagna di rilievo batimetrico

Prima dell'avvio delle operazioni di rilevazione è stata effettuata la taratura dell'ecoscandaglio (per confronto con misure effettuate con scandaglio meccanico) riscontrando un errore nella misura della profondità compreso fra a 15 e 35 cm.

Al fine di garantire una buona densità di punti rilevati, gli stessi sono stati campionati con la frequenza di uno ogni 2 secondi.



Figura 3.26 Rilievo batimetrico lungo le sponde del serbatoio Ragoletto

I dati registrati dal sistema ricevente mobile, dopo essere stati corretti utilizzando i dati acquisiti dalla stazione fissa, sono stati ulteriormente analizzati allo scopo di verificarne la congruità e ciò ha determinato l'eliminazione di qualche centinaio di dati di posizione e di profondità. A conclusione di tale operazione di correzione è stato ricavato un file contenente un elenco di terne di dati di posizione e profondità di più di 12.000 record. Tali dati sono stati quindi elaborati con il software SURFER per ottenere il modello digitale del fondo dell'invaso (Figura 3.28), per effettuare i confronti con i rilievi precedenti e per ottenere le opportune restituzioni cartografiche.

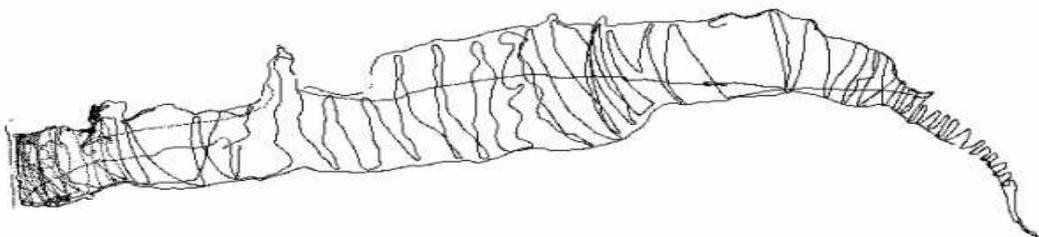


Figura 3.27 Schema del percorso seguito con l'imbarcazione durante il rilievo batimetrico del serbatoio artificiale Ragoletto (Giugno 2007).

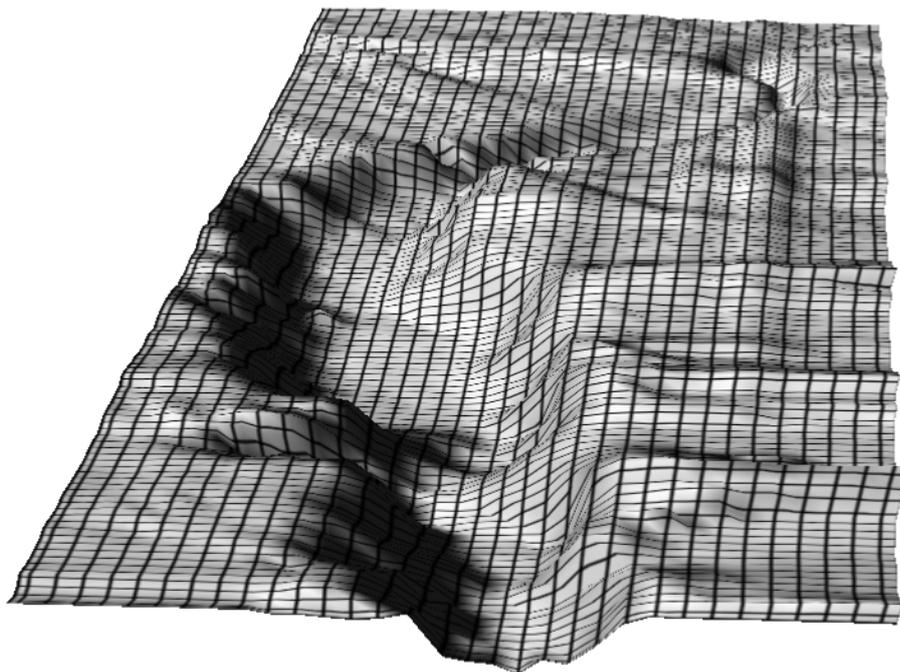


Figura 3.28 Modello digitale 3D del fondo del serbatoio Ragoletto. Anno2007

3.3.3. Dati di interrimento nel serbatoio Ragoletto osservati dal 1963 al 2009

I dati di interrimento osservati nel bacino Ragoletto sono stati ricavati dai rilievi batimetrici eseguiti dal 1963 al 2009 con diverse tecnologie (Figure 3.29 e 3.30). In particolare oltre al rilievo aerofotogrammetrico effettuato attorno al 1960 prima della realizzazione della diga, sono disponibili altri sei rilievi batimetrici: nel 1980 a serbatoio pressoché vuoto, nel 1996 con il livello idrico a quota 321,5 m s.m.m., corrispondente ad un volume invasato di circa 14 Mm³ (Barbagallo et al., 1997). Ulteriori rilievi sono stati eseguiti nel 2005 con il livello idrico a quota 325,8 m s.m.m. (Indelicato et al., 2006), nel giugno e nel dicembre 2007, a giugno 2009 e nel dicembre 2009 (Barbagallo et al., 2010) con livello idrico a quota 325,13 m s.m.m., con la metodologia basata sul sistema di posizionamento satellitare GPS e con ecoscandaglio *singlebeam* visto precedentemente.

Nel serbatoio Ragoletto, sin dalle prime fasi di esercizio, sono state effettuate, mediamente con frequenza annuale, cacciate dai due scarichi di fondo esistenti con lo scopo di allontanare fango e sedimenti accumulatisi in prossimità degli stessi.

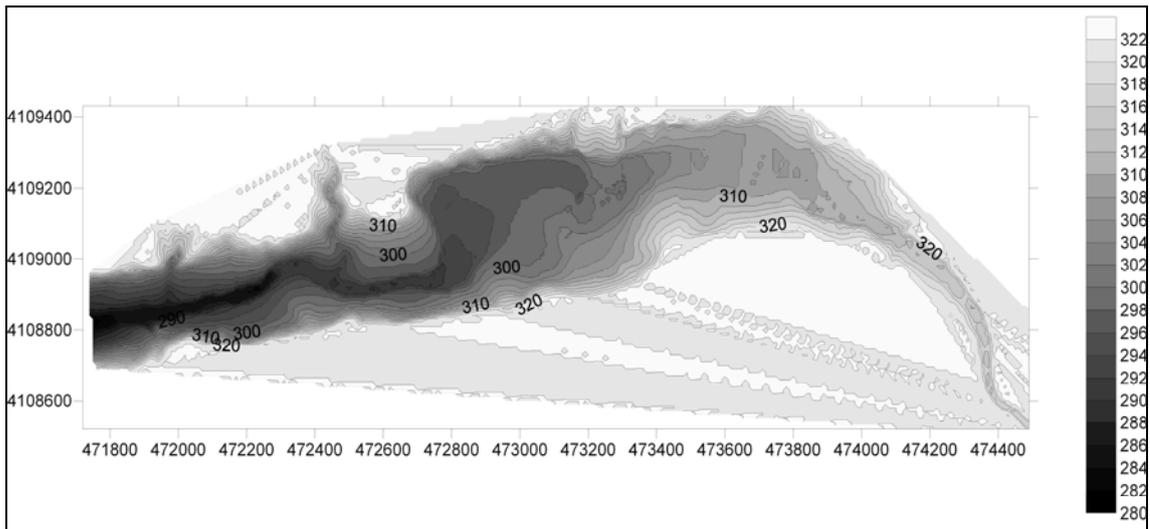


Figura 3.29 Batimetria del fondo del serbatoio Ragoletto relativa al 1961

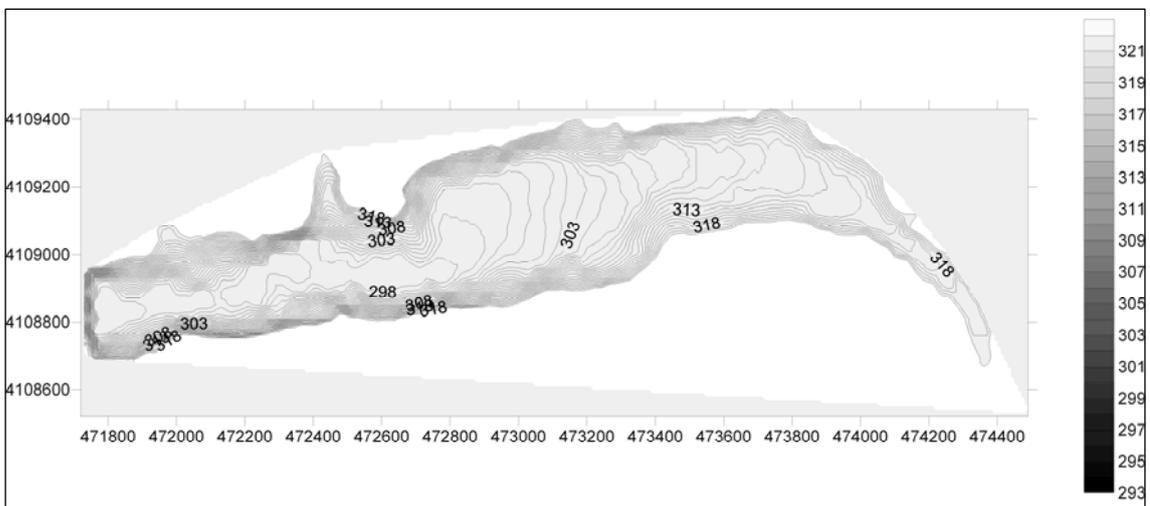


Figura 3.30 Batimetria del fondo del serbatoio Ragoletto relativa al 2005

Nella tabella 3.5 vengono riportati i risultati di alcuni degli interventi effettuati (si noti la bassa efficienza delle cacciate con un rapporto tra volume di fango e volume di acqua dell'ordine dell'1÷2%). Nella figura 3.31 viene illustrato l'effetto di una cacciata sulla disostruzione dei due scarichi.

Tabella 3.5 Dati sulle cacciate dagli scarichi di fondo eseguite nel serbatoio Ragoletto Anno 1991

Anno	Portata scaricata (m ³ /s)	Durata della cacciata	Altezza media del fango sulla soglia degli scarichi di fondo prima/dopo la cacciata (m)	Volume di fango scaricato (m ³)	Rapporto tra il volume di fango e il volume di acqua scaricati
1975	27,5	4' - 5'	2,45/0,40	137	0.017
1976	29,6		3,00/1,50	123	
1979	27,0		3,60/1,50	130	
1991	28,7		4,65/1,25	226	

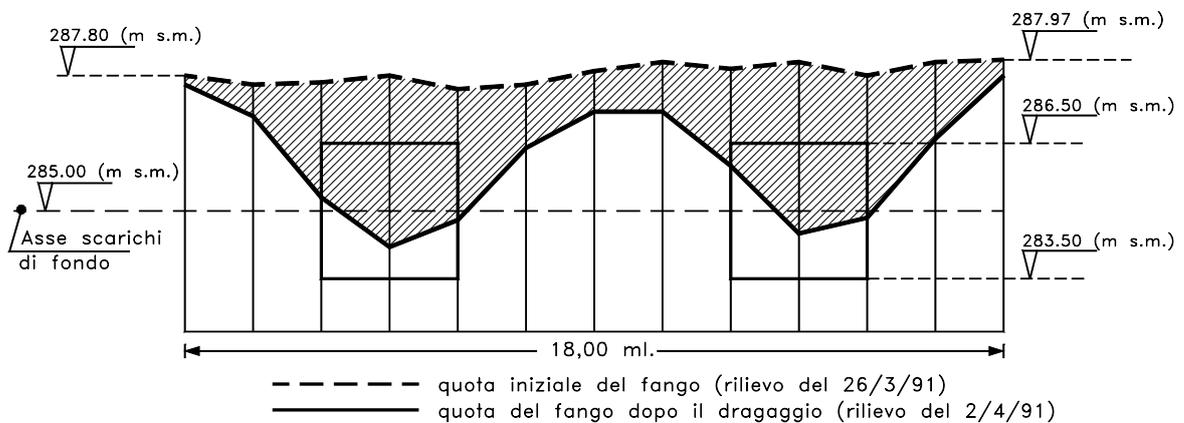


Figura 3.31 - Sezione trasversale del serbatoio Ragoletto (a 2m dal paramento di monte): effetto di una cacciata. Anno 1991

Nel gennaio 1992 è stata invasata una piena di notevole entità che ha trasportato rilevanti quantitativi di fango e detriti, sedimentati fino ad una quota di 7 metri sopra l'asse degli scarichi di fondo, giungendo così a lambire le opere di presa poste ad una quota di 293,0 m s.m.m.. In tale occasione, per salvaguardare l'integrità delle griglie degli scarichi, non sono state effettuate cacciate poiché l'accesso, assieme al fango da espellere, di eventuali tronchi o di altri materiali grossolani nella galleria dello scarico di fondo avrebbe potuto bloccare le paratoie non permettendone la chiusura; è stato invece eseguito, nel 1995, un intervento di dragaggio su un'area di circa 600 m² in prossimità degli scarichi di fondo. E' stato utilizzato un gruppo dragante con portata di 1200 m³/h e prevalenza di 28 m, comprendente una centrifuga e due disgregatori laterali azionati da un motore idraulico

Il sedimento dragato, pari a circa 5.000 m³, è stato scaricato in una vasca di

sedimentazione con sponde in terra, realizzata a valle dello sbarramento (COMAP, 1995). La figura 3.32 riporta una sezione trasversale in prossimità del paramento di monte della diga; in essa è evidenziata la quota di fondo dell'invaso prima e dopo il dragaggio.

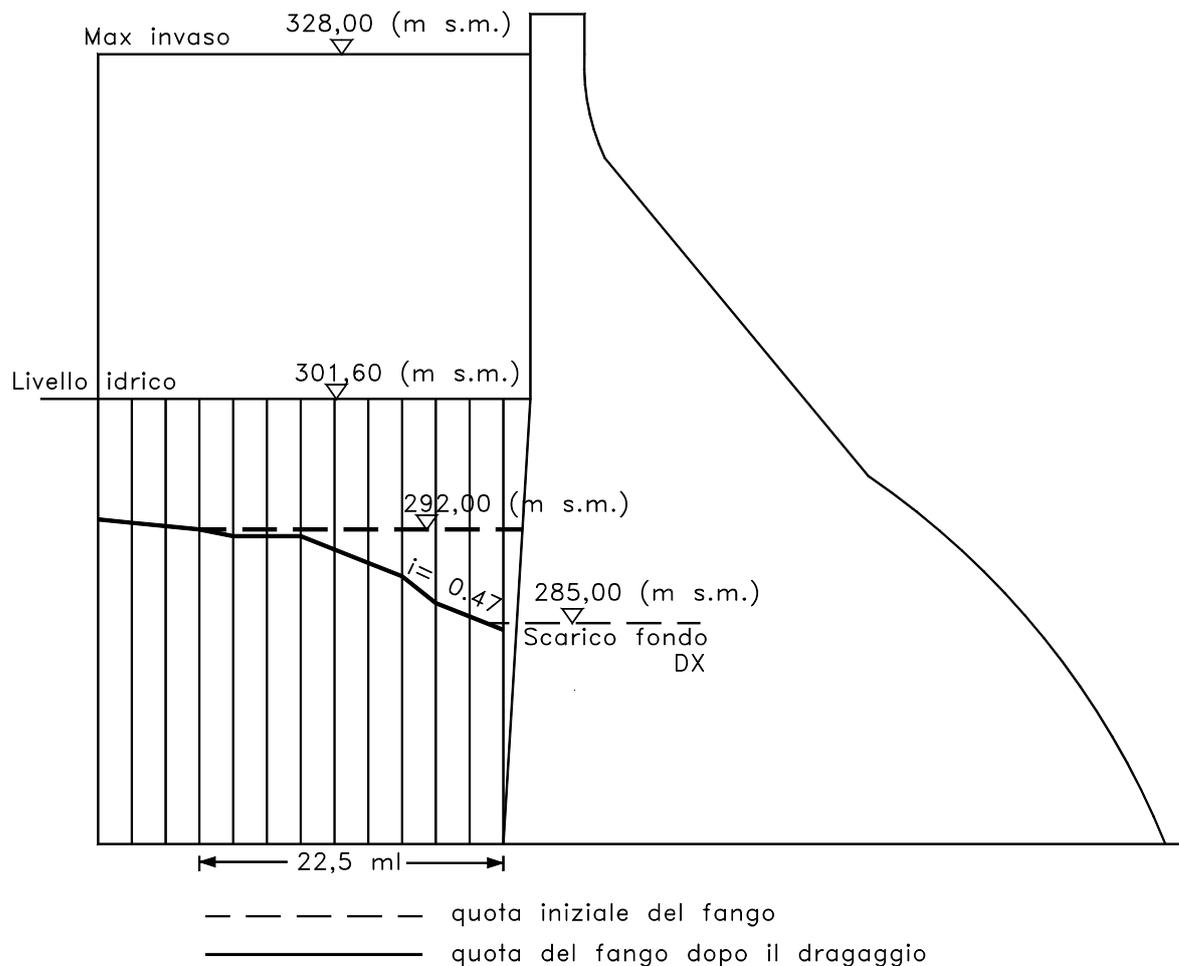


Figura 3.32 Profilo longitudinale del fondo del serbatoio Ragoletto in prossimità delle opere di scarico prima e dopo il dragaggio nell'aprile-novembre 95

La concentrazione di materiale solido nel fango di dragaggio si è aggirata intorno al 5-10 % con punte del 25%. L'analisi granulometrica del sedimento dragato ha evidenziato la seguente composizione media: sabbia per il 36%, limo per il 28% e argilla per il 36%. Il costo complessivo dell'intervento di dragaggio è stato dell'ordine di 123,95 € per m³ di fango dragato (Barbagallo et al., 2004).

Tale limitato intervento di dragaggio e le successive cacciate effettuate hanno consentito il ripristino della funzionalità degli scarichi di fondo, che però, nel 2004 sono stati

nuovamente ostruiti. Alla fine del 2006 il gestore, nella fase di redazione del Piano di gestione dell'invaso (ai sensi del DM 30/06/2004) ha provveduto ad un nuovo intervento di dragaggio più esteso del precedente, su un'area di circa 25.000 m², e non limitato alla sola zona prossima allo sbarramento (Figure 3.33, 3.34, 3.35, 3.36, 3.37). Il Gruppo dragante comprendeva una centrifuga e due disgregatori laterali azionati da un motore idraulico; pompa di 500 cv e (Q=1200 m³/h) (Figura 3.38).

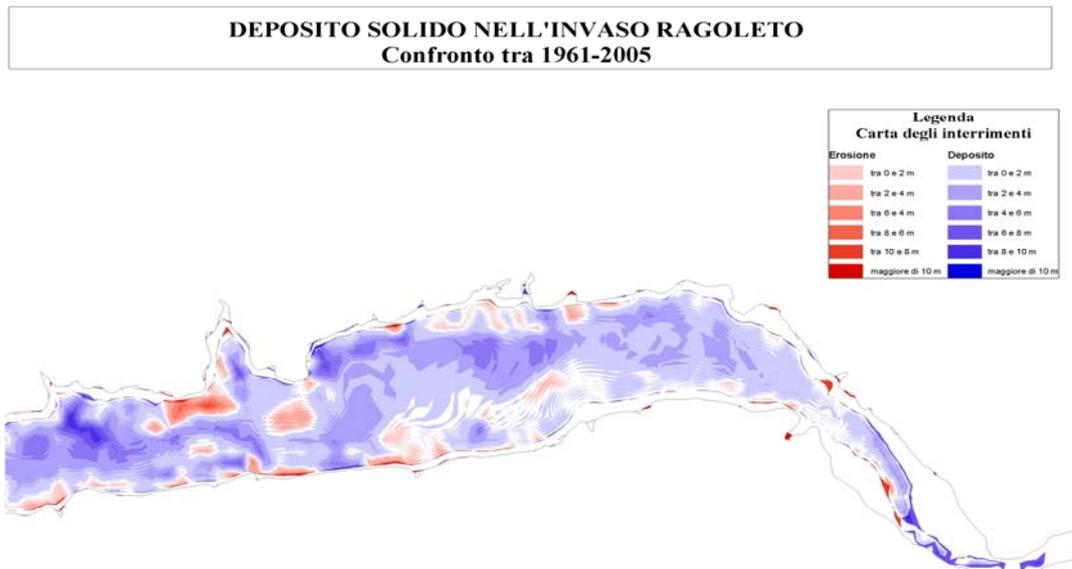


Figura 3.33 Carta degli interrimenti del serbatoio Ragoletto

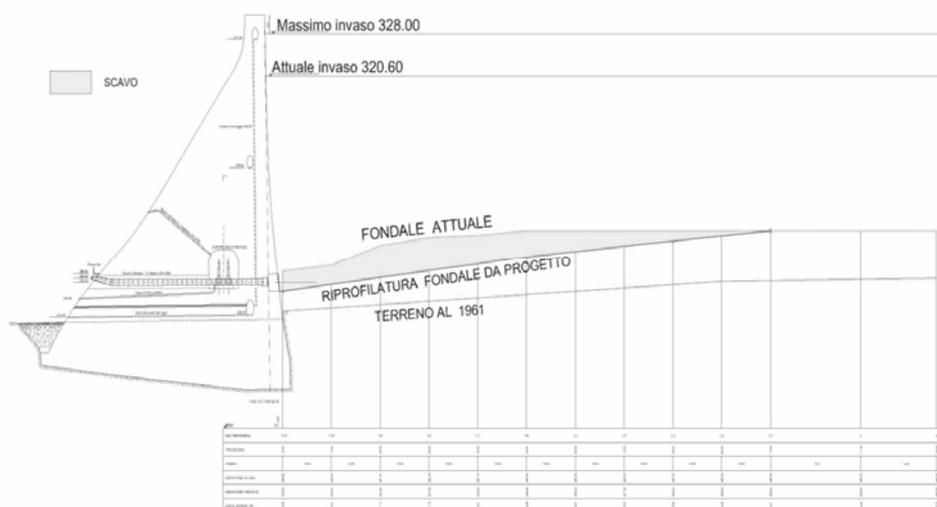


Figura 3.34 Progetto di dragaggio del serbatoio Ragoletto (AGIP Petroli, 2005)

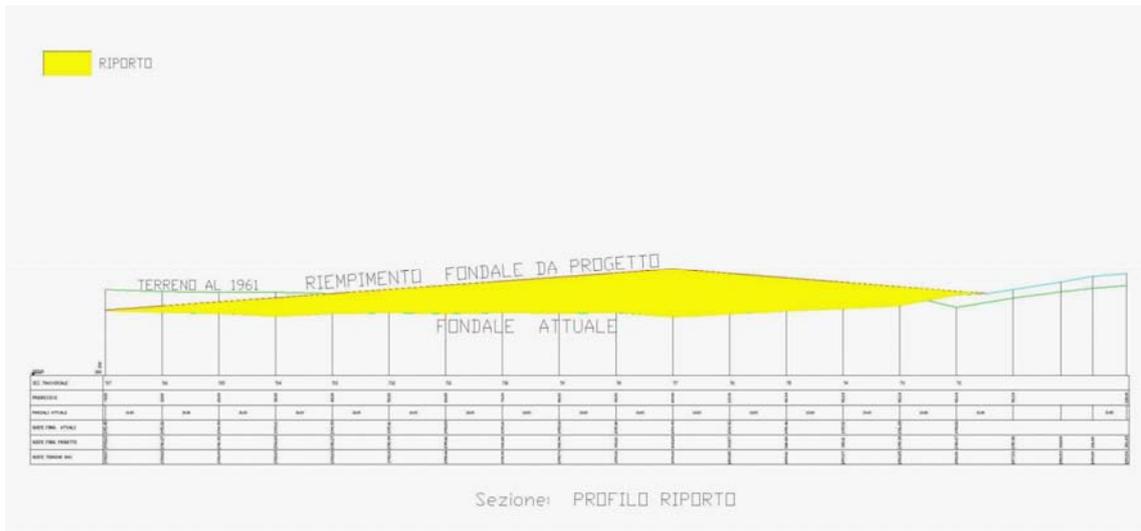


Figura 3.35 Progetto di dragaggio e riporto del serbatoio Ragoletto (AGIP Petroli, 2005)



Figura 3.36 Fasi del dragaggio Anno 2006



Figura 3.37 Dragaggio in prossimità degli scarichi di fondo

Il sedimento dragato è stato depositato in una zona depressa a monte dello sbarramento, entro la sponda destra del serbatoio, ad una distanza compresa tra 500 e 850 m dalla zona di prelievo (Figure 3.38, 3.40, 3.41). A conclusione delle attività di dragaggio, che hanno avuto una durata di 4 mesi, gli scarichi di fondo sono risultati disostruiti.

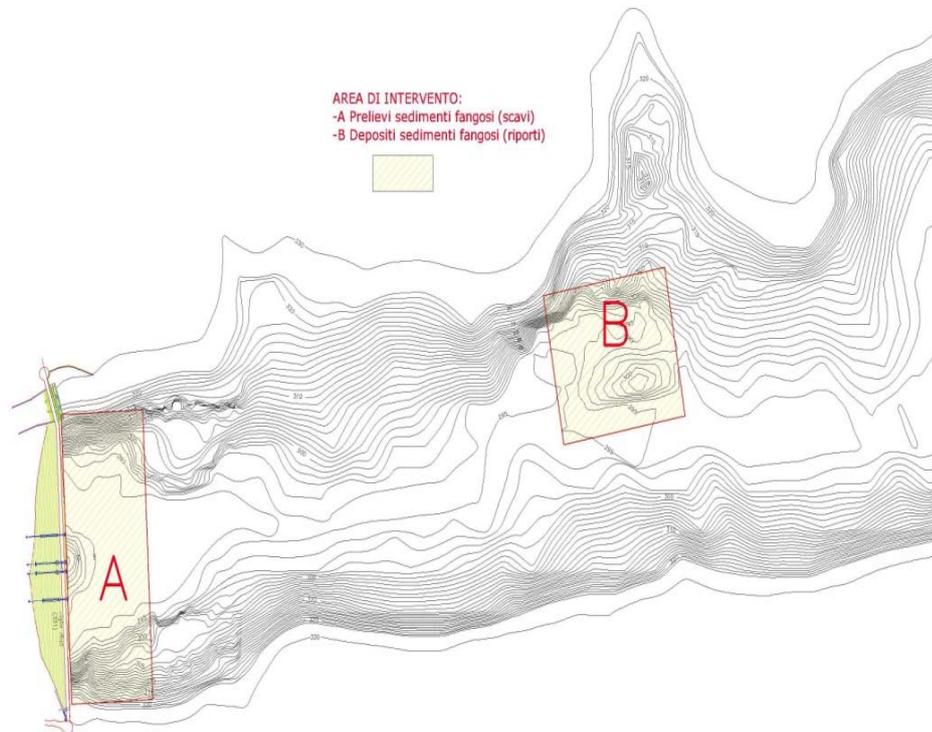


Figura 3.38 Mappa delle aree di dragaggio e di riporto dei fanghi di dragaggio



Figura 3.39 Gruppo dragante



Figura 3.40 Gruppo dragante in azione (sinistra); i fanghi aspirati vengono pompate, attraverso una condotta galleggiante, verso l'area all'interno del serbatoio destinata allo stoccaggio (destra)



Figura 3.41 I fanghi aspirati in prossimità dello sbarramento vengono depositati nell'area di stoccaggio (sinistra) delimitata da barriere mobili (destra).

L'elaborazione dei dati rilevati nel 2007 ha consentito la realizzazione del modello digitale 3D del fondo dell'invaso (Figura 3.28 pag. 49) e la restituzione del serbatoio a curve di livello (Figura 3.42).

Nella Figura 3.43 sono invece confrontate 4 sezioni trasversali del serbatoio (rispettivamente a 52 m, 128 m, 290 m e 800 m dallo sbarramento) relativamente ai rilievi del 1980, del 1996, del 2005 e del 2007. L'ubicazione delle sezioni è riportata nella Figura 3.42. Nelle sezioni prese in esame, a fronte di una larghezza del fondo dell'alveo variabile fra circa 20 e 60 m nel 1980, nel 2007 sono state riscontrate larghezze comprese tra 90 e 170 m.

L'azione erosiva esercitata dalla corrente idrica sulla sponda destra dell'invaso, già riscontrata nei rilievi precedenti, risulta lievemente accentuata rispetto al 2005, come si evidenzia nelle sezioni B-B e C-C. L'interrimento del serbatoio, rispetto al rilievo del

2005, è stato valutato pari a ~ 5 m, tale maggiore accumulo di sedimenti si riscontra nella sezione E-E.

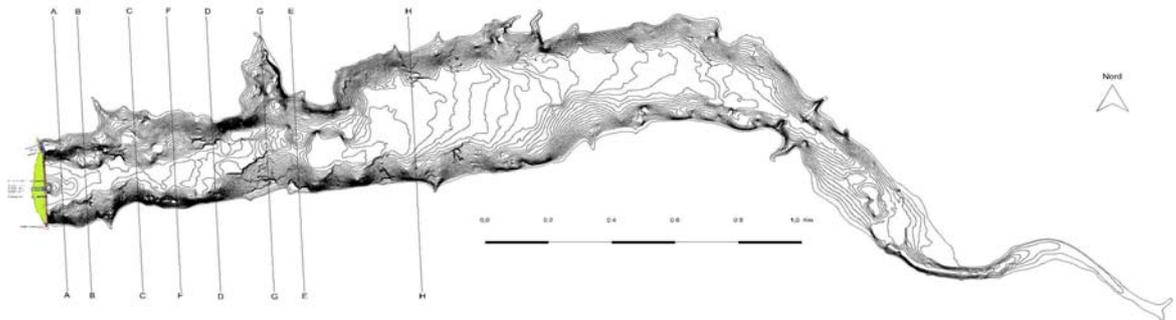


Figura 3.42 Curve di livello del serbatoio artificiale Ragoletto (rilievo batimetrico 2007). In figura sono localizzate le sezioni trasversali, indicate con lettere da A ad H.

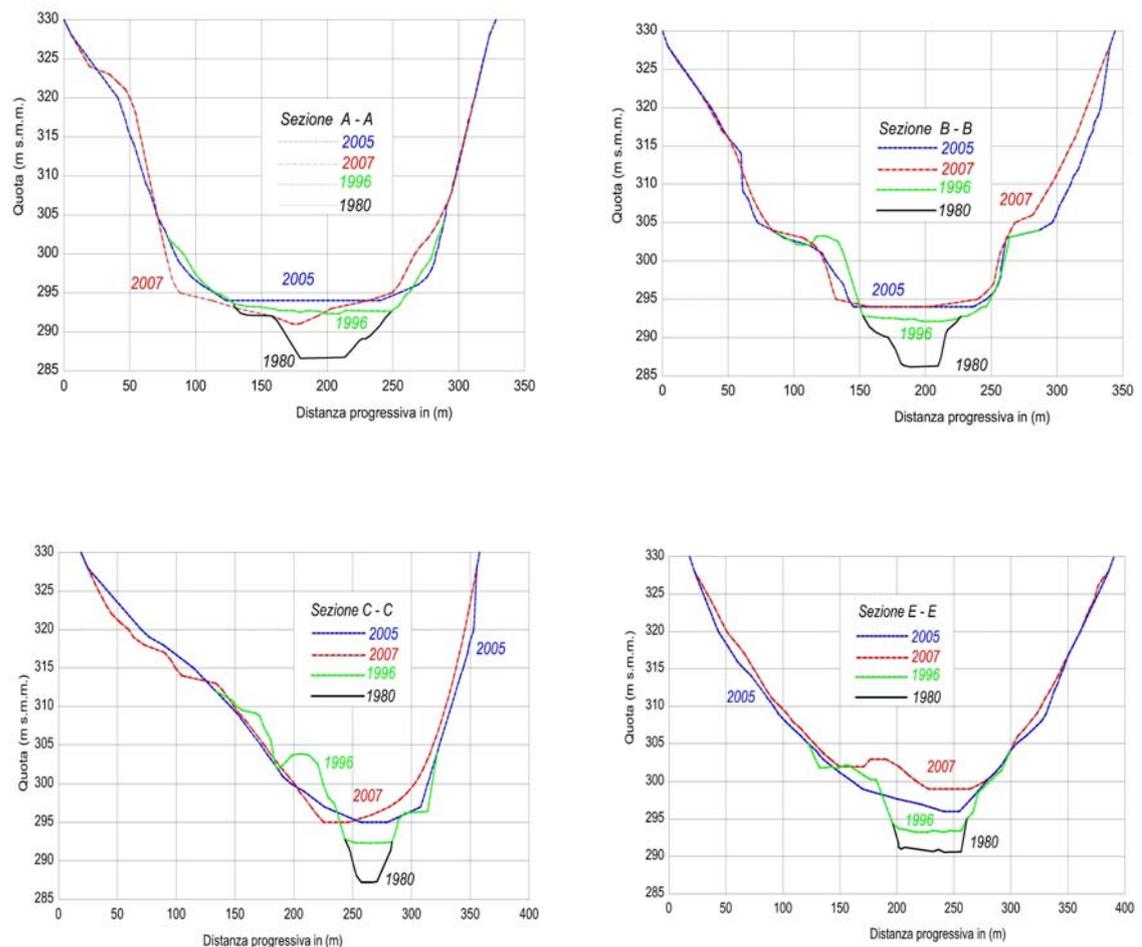


Figura 3.43 - Sezioni trasversali del serbatoio artificiale Ragoletto rispettivamente A-A (a 52 m dallo sbarramento), B-B (a 128 m dallo sbarramento), C-C (a 290 m dallo sbarramento) e E-E (a 800 m dallo sbarramento).

Dal confronto delle sezioni trasversali, che mettono in relazione il rilievo del 2005 e del 2007 (Figura 3.44), si evince che la situazione rimane pressoché invariata, qualche lieve differenza rispetto al rilievo 2005 è dovuta all'azione erosiva della corrente idrica e a frane lungo le sponde. L'accumulo dei sedimenti fangosi nella zona prescelta (sezione G-G), come evidenziato dalla Figura 3.44, ha modificato la situazione antecedente della sezione trasversale, determinando un restringimento della larghezza del fondo pari a ~ 50 m.

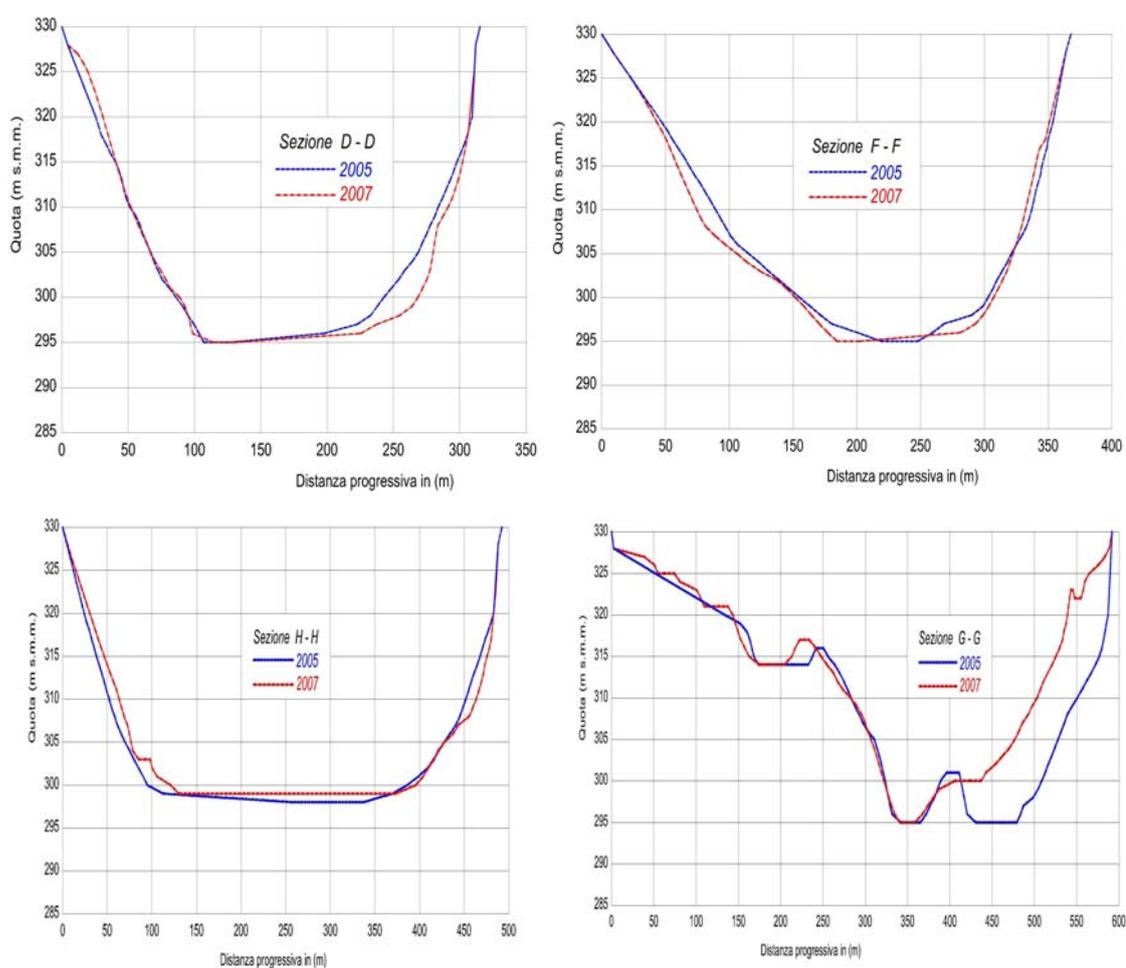


Figura 3.44 - Sezioni trasversali del serbatoio artificiale Ragoletto rispettivamente D-D (a 530 m dallo sbarramento), F-F (a 405 m dallo sbarramento), H-H (a 1170 m dallo sbarramento) e G-G (a 700 m dallo sbarramento).

Il prosieguito delle rilevazioni batimetriche, eseguite nel giugno del 2009, permettono di monitorare l'andamento dell'interrimento nel tempo. L'elaborazione dei dati 2009 consente il confronto con quattro sezioni trasversali del serbatoio (rispettivamente a 128 m, 290 m, 530 m e 800 m dallo sbarramento) relative ai rilievi del dicembre del 2007. L'ubicazione delle quattro sezioni in esame è visualizzata sulla carta a curve di livello elaborata nel 2009 (Figura 3.45)

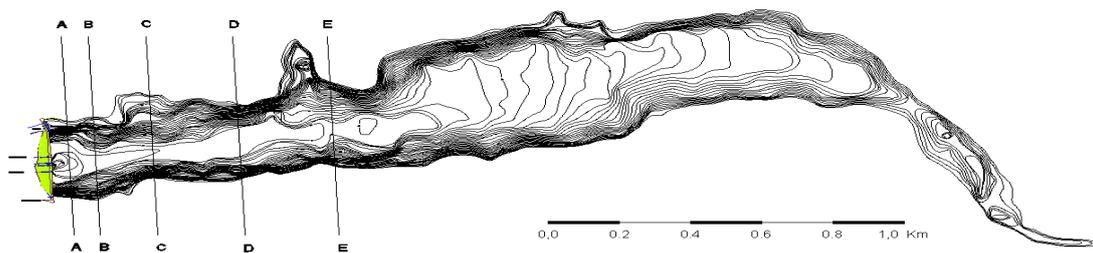


Figura 3.45 -Carta a curve di livello del serbatoio artificiale Ragoletto (rilievo batimetrico del giugno 2009).

Dal confronto fra le sezioni trasversali (Figura 3.46) si evidenzia come la situazione del fondo lago e dei versanti sia rimasta pressoché invariata, fra i due rilievi effettuati dopo il corposo intervento di dragaggio; qualche lieve differenza (sezione B-B e sezione E-E), in prossimità degli scarichi di fondo e del luogo scelto per il deposito del materiale derivante dal dragaggio eseguito nell'aprile del 2007, è dovuta all'azione erosiva e di trasporto della corrente idrica.

In Tabella 3.6 per ciascun periodo analizzato e per l'intero arco temporale di esercizio del serbatoio (dal 1964 al 2009), sono riportati il volume di interrimento (totale ed annuo), la percentuale di perdita di capacità d'invaso (totale ed annua) e l'interrimento specifico annuo per unità di superficie del bacino idrografico di alimentazione. Tali dati sono stati calcolati sulla base delle relazioni altezze-volumi riportate in Figura 3.12 di pag. 33

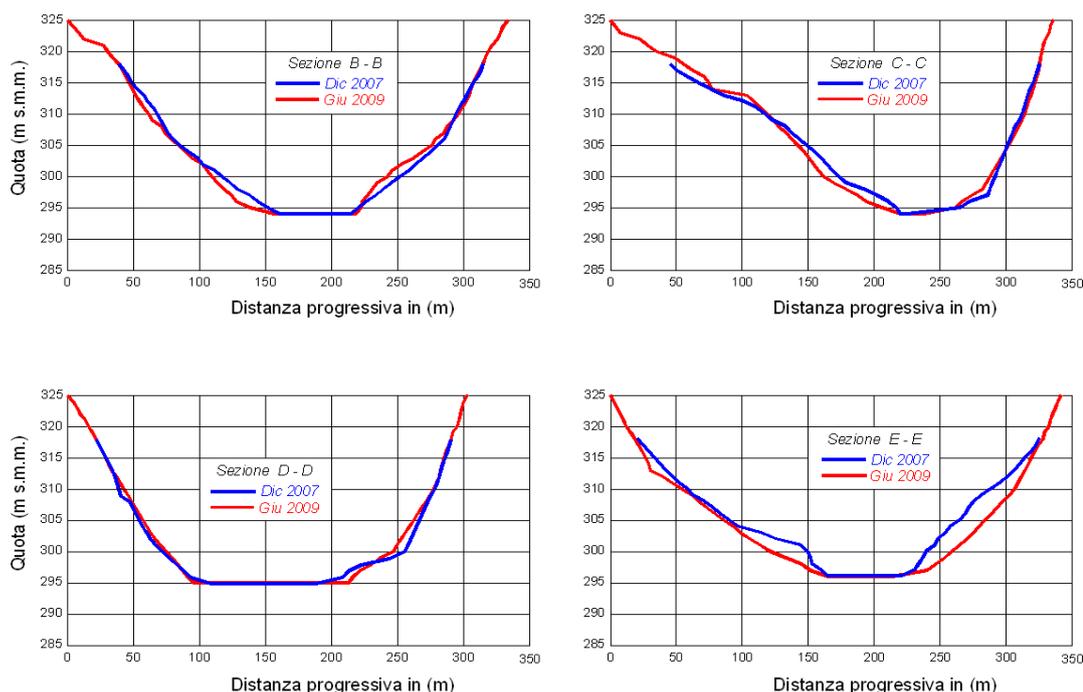


Figura 3.46 - Serbatoio artificiale Ragoletto: sezioni trasversali B-B (a 128 m dallo sbarramento), C-C (a 290 m dallo sbarramento), D-D (a 530 m dallo sbarramento), ed E-E (a 800 m dallo sbarramento). (Rilievi di dicembre 2007 e giugno 2009).

Dall'analisi della Tabella 3.6 risulta evidente che dal 1963 sono sedimentati in media circa $51.000 \text{ m}^3/\text{anno}$ provocando una perdita media della capacità d'invaso annua pari a 0,22% (circa il 10% della capacità totale si è interrta in 46 anni di esercizio).

Nel periodo fra il 1980 ed il 1996 è stato riscontrato un volume di interrimento annuo leggermente inferiore rispetto a quello medio; ciò potrebbe essere dovuto anche all'intervento di dragaggio del 1995 che, seppur limitato a poche migliaia di m^3 , potrebbe aver favorito la rimozione di una parte del materiale solido attraverso le periodiche cacciate dagli scarichi di fondo appena liberati.

D'altro canto, nell'analizzare i periodi relativi agli anni 1997-2005 e 2006-2007, in cui si è registrata la maggiore percentuale di perdita annua di capacità d'invaso (0,24% e 0,48%), occorre considerare che gli scarichi di fondo risultavano ostruiti dal 2004 e dunque non è stata effettuata alcuna cacciata fino all'esecuzione del nuovo dragaggio (dicembre 2006).

Tabella 3.6 - Serbatoio artificiale Ragoletto: volumi di interrimento, perdita di capacità d'invaso e interrimento specifico annuo dal 1964 al 2009

Periodo di riferimento	Anni di esercizio	Interrimento		Perdita capacità di invaso		Interrimento specifico annuo	
	(n.)	(Mm ³)	(Mm ³ /anno)	(%)	(%/anno)	(m ³ /ha)	(t/ha)
1964-1980	17	0,9	0,053	3.8	0,23	4,5	6,1
1980-1996	16	0,7	0,044	3.0	0,19	3,7	5,0
1997-2005	9	0,5	0,056	2.1	0,24	4,7	6,4
2006-2007	2	0,227	0,114	1.0	0,48	9,7	13,0
2008-06/2009	1.5	0,0037	0,0025	0,016	0,010	0,2	0,3
1963-2009	45.5	2,331	0,051	9.9	0,22	4,4	5,9

Infine, nel periodo fra gli ultimi due rilievi, è stato riscontrato un volume di interrimento annuo, pari a 2.500 m³/anno, molto inferiore rispetto a quello medio rilevato nelle precedenti campagne di misura; tale riduzione del volume interrimento potrebbe essere dovuta alle operazioni di dragaggio del dicembre 2006 che, avendo liberato gli scarichi di fondo, hanno consentito la sistematica rimozione di buona parte del materiale solido attraverso le periodiche cacciate, peraltro, effettuate dal gestore con una frequenza maggiore rispetto al passato (circa 4 cacciate per anno).

Tale circostanza, se confermata da future rilevazioni, porterebbe ad affermare che le modalità di gestione del serbatoio, in termini di periodiche cacciate dagli scarichi di fondo, influisce significativamente sulla quantità di materiale che sedimenta a monte dello sbarramento. In particolare sembrerebbe che l'incremento del numero di cacciate per anno contribuisca in maniera determinante alla riduzione dell'interrimento annuo, evitando così i frequenti problemi relativi all'ostruzione degli scarichi di fondo.

L'interrimento specifico annuo per unità di superficie, pari a circa 5,7 t/ha/anno sull'intero periodo 1963-2009, è stato valutato sulla base dei volumi interrimenti e della superficie del bacino sotteso dallo sbarramento, considerando un peso specifico del materiale solido secco di 1350 kg/m³ (valore misurato da *Amore et al.*, 2004).

È dunque evidente che tale valore specifico di interrimento rappresenta solo un'aliquota dell'intera produzione di sedimenti del bacino sotteso dallo sbarramento, in quanto non viene considerato il materiale solido che viene eliminato dall'invaso per mezzo di cacciate e/o dragaggi.

All'interno del serbatoio sono stati prelevati numerosi campioni di acqua, per la determinazione tramite analisi di laboratorio, dei solidi sospesi. I campionamenti sono stati effettuati nel 2007 tramite un campionatore manuale provvisto di corda regolabile; (Figura 3.47). I campioni sono stati prelevati alle seguenti profondità;

- ½ m dal fondo
- 3 m dal fondo;
- 15 m dalla superficie
- 2 m dalla superficie.

I punti di campionamento, sono stati individuati in prossimità degli scarichi di fondo e a monte della sbarramento. (Figura 3.48)



Figura 3.47 Strumentazione per il campionamento delle acque a varie profondità

Dalle analisi di laboratorio risulta evidente che la concentrazione dei SST al fondo varia tra $\approx 1,25$ g/l e $\approx 2,0$ g/l per il deposito di materiale, principalmente di natura argillosa. Ad una altezza pari a ½ m dal fondo la concentrazione dei SST risulta compresa tra $\approx 0,3$ g/l e $\approx 1,0$ g/l mentre, nell'altezza d'acqua compresa tra la superficie e ½ m dal fondo la qualità dell'acqua risulta decisamente migliore con una concentrazione di SST inferiore a 0,25 g/l.

Dal grafico riportato in Figura 3.49 è possibile notare che, per i punti 1 e 2, la qualità dell'acqua rimane buona anche a quota 34÷35 m, tale quota risulta più bassa rispetto a quella di progettazione delle prese agricola ed industriale, pari a 292 m s.l.m.m., constato che nel periodo in cui è stato effettuato il rilievo batimetrico la quota di invaso del serbatoio Ragoletto era pari a circa 325,3 m s..m.m.

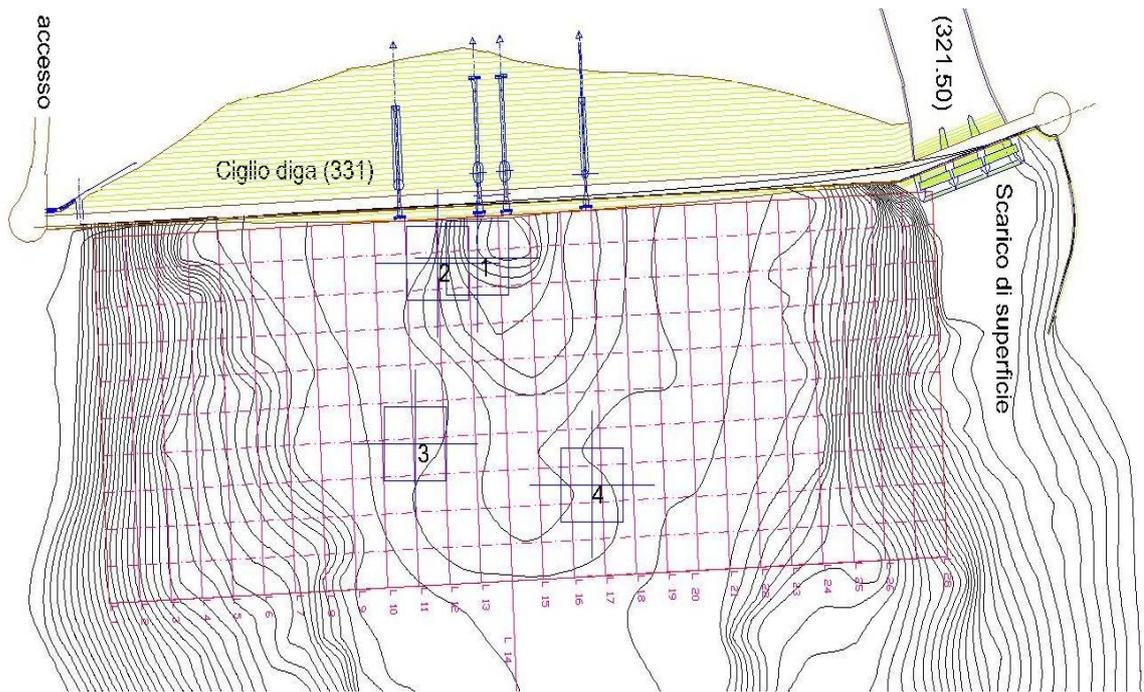


Figura 3.48 Punti di prelevamento dei campioni d'acqua

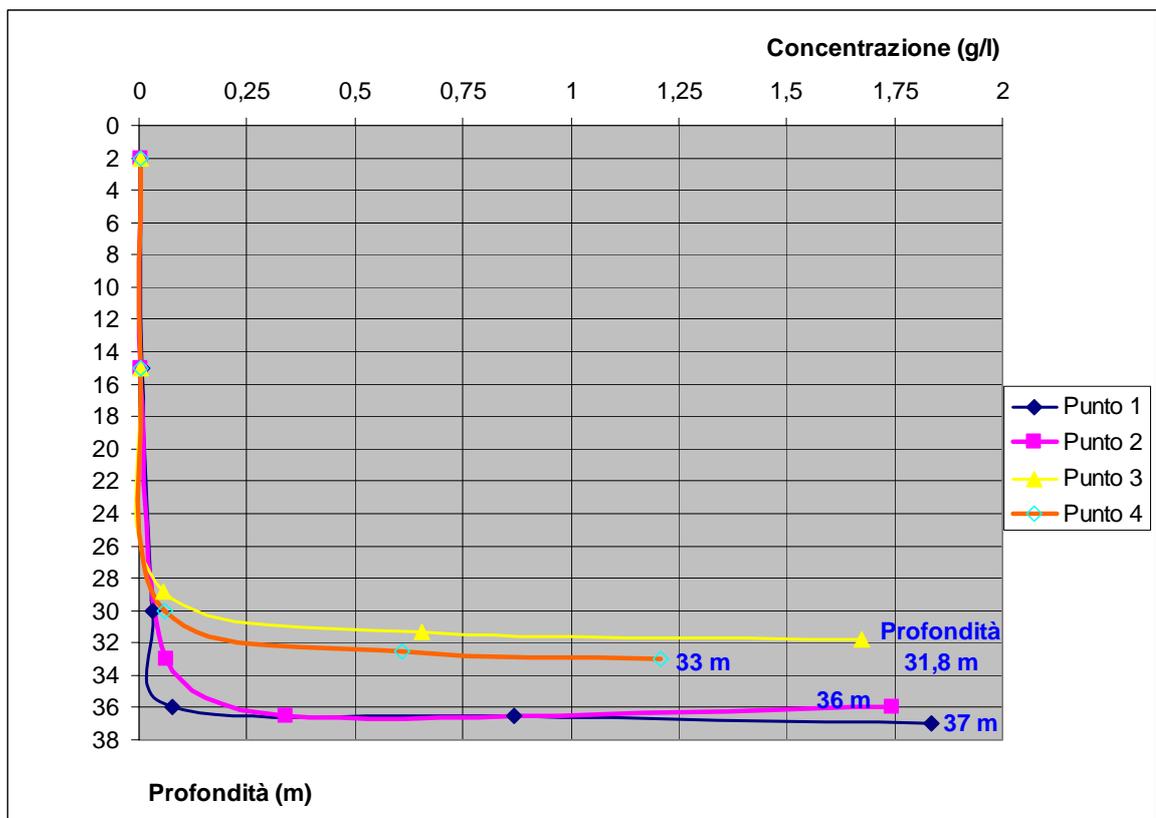


Figura 3.49 - Concentrazione dei solidi sospesi SST lungo il profilo del serbatoio Ragoletto nei punti considerati

CAPITOLO 4

Caratteristiche e modalità di implementazione del modello SWAT

4.1 Principali caratteristiche del modello

Il “Soil and Water Assessment Tool” (Figura 4.1) è un modello idrologico “fisicamente basato” sviluppato dalla USDA-ARS per la previsione degli effetti che la gestione del suolo ha su deflusso e produzione di sedimenti in grandi bacini morfologicamente complessi e non omogenei in termini di suolo ed uso del suolo (Arnold et al.1998).

Nel modello SWAT il bacino viene suddiviso in sottobacini, ciascuno dei quali può essere suddiviso ulteriormente in Hydrologic Response Units (HRUs, unità di risposta idrologica) omogenei in termini di suolo e uso del suolo. Le HRUs sono unità virtuali spazialmente non definite calcolate trattando le informazioni di suolo e uso del suolo

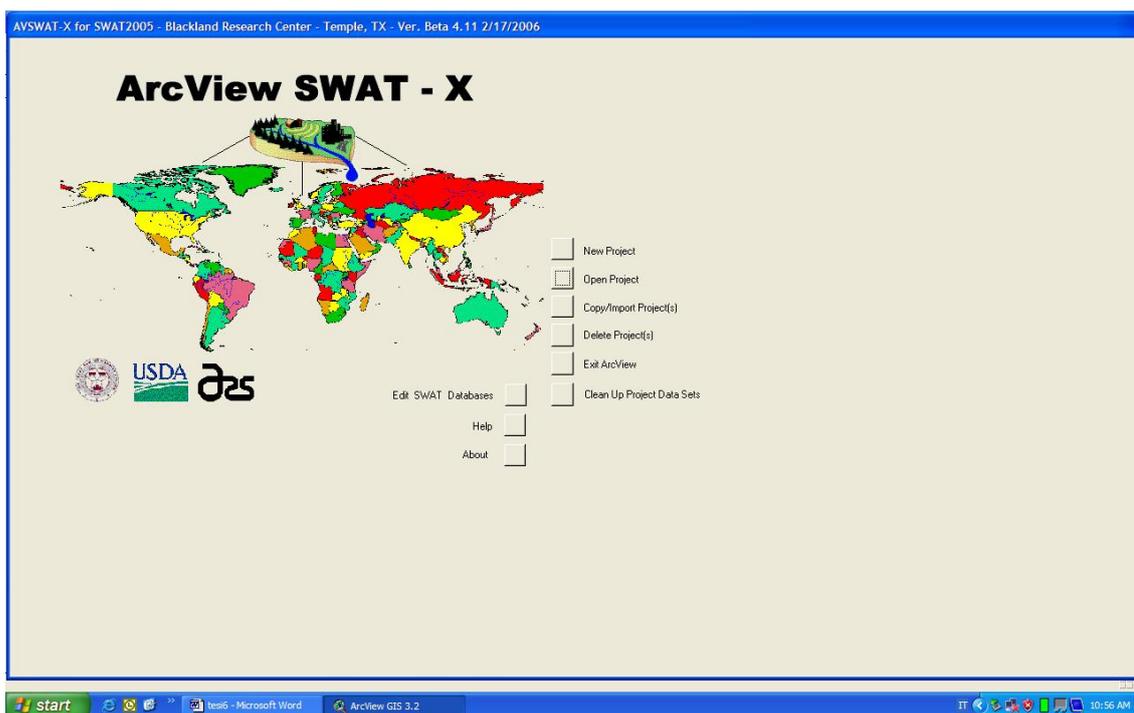


Figura 4.1 Interfaccia del modello SWAT

come distribuzioni statistiche e trasformando le informazioni spaziali distribuite (mappe di suolo e uso del suolo) in informazioni non spaziali. L'uso efficiente di insiemi di dati non spaziali (Srinivasan et al., 2000) ed i minimi costi computazionali di simulazioni, in cui aree omogenee in termini di suolo uso del suolo spazialmente

distinte vengono trattate come unità singole (Neitsch et al, 2000), sono i vantaggi offerti dalle HRUs. È implicito quindi che non esista alcuna interazione fra diverse HRUs: volume di deflusso, produzione di sedimenti, quantità di nutrienti e pesticidi, vengono valutati nella singola HRU e poi sommati per il singolo sottobacino. Le quantità risultanti in uscita dai sottobacini giungono alla sezione d'uscita del bacino attraverso la rete idrografica tenendo conto della eventuale presenza di ristagni e/o serbatoi nel bacino.

4.2 Componente idrologica del modello SWAT

La componente idrologica del modello SWAT si basa sull'equazione di bilancio idrico, che include i processi di precipitazione, evapotraspirazione, deflusso superficiale, risalita capillare e accumulo di acqua nel suolo. I volumi idrici accumulati sono di quattro tipi: neve, volume di acqua presente nella zona di non saturazione (0-2 m), acquifero superficiale (2-20 m) e acquifero profondo (>20 m). Il profilo del terreno può essere suddiviso in 10 strati.

La suddivisione del sottobacino in HRUs consente anche di valutare le differenze in termini di evapotraspirazione potenziale per differenti tipi di suolo e uso del suolo con uno dei tre metodi presenti nel modello: Priestly-Taylor (Priestly e Taylor, 1972), Penman-Monteith (Monteith, 1965), o Hargraves (Hargraves e Samani, 1985). È possibile inoltre inserire i valori di evapotraspirazione calcolati dall'utente. Nel modello SWAT la valutazione del deflusso superficiale generato nella singola HRU può essere effettuato con tre procedure date dalla combinazione della scala temporale dei dati di precipitazione utilizzata (giornaliera o sub-oraria) con il metodo di calcolo del deflusso scelto tra quelli del "Curve Number Method" del Soil Conservation Service (USDA, 1972) e di Green ed Ampt (Green ed Ampt, 1911).

Nel presente lavoro è stato utilizzato il metodo dell'SCS-CN, largamente usato negli Stati Uniti, che consente di valutare il deflusso in funzione del tipo e uso del suolo e delle pratiche di lavorazione.

Il modello calcola, per ogni HRU, il volume di deflusso superficiale e la portata massima. Il volume di deflusso superficiale dalla singola HRU viene valutato mediante

il ben noto “Curve Number Method” sviluppato dal Soil Conservation Service (USDA, 1972) .

Il metodo del SCS-CN si basa sull’ipotesi che, in termini specifici (ovvero ragionando per unità di superficie di suolo), il volume di deflusso superficiale Q è proporzionale al relativo volume di pioggia depurato da una perdita iniziale per intercettazione e invaso superficiale ($P-IA$), secondo il rapporto tra volume infiltrato (F) e capacità di ritenzione del terreno (S):

$$F/S = Q/(P - IA) \quad (1)$$

dove: P = afflusso (mm)

IA = assorbimento iniziale prima dell’inizio del runoff (mm)

F = assorbimento durante il runoff (mm)

Q = volume runoff o deflusso (mm)

In altre parole viene riprodotto il concetto empirico secondo cui, a parità di pioggia efficace ($P-IA$), a un maggiore grado di riempimento dell’invaso nel suolo (F/S crescente) corrisponde una minore infiltrazione e quindi un maggiore deflusso superficiale.

Ai due estremi, quando l’invaso è vuoto ($F/S = 0$) non si verificherà deflusso, mentre nel caso opposto di invaso pieno ($F/S = 1$) tutta la pioggia efficace ($P-IA$) defluirà superficialmente.

Introducendo nella (1) l’equazione di continuità

$$Q = (P - IA) - F$$

e assumendo come altra posizione empirica $IA = 0.2 S$ si perviene alla nota relazione

$$Q = (P - 0.2 S)^2 / (P + 0.8 S) \text{ per } P > 0.2 S \quad (2)$$

$$Q = 0 \text{ per } P < 0.2 S$$

in cui Q , P ed S sono espressi in termini di volumi specifici omogenei (mm o inch).

Quindi l’unica grandezza che presiede alla trasformazione afflussi-deflussi è S che, per comodità applicative, viene sostituito da un indice CN che assume i valori da 0 a 100.

Se S viene espresso in mm la relazione che fornisce il valore di CN è la seguente:

$$CN = \frac{25400}{254 + S}$$

Al caso limite di capacità di ritenzione nulla ($S = 0$) corrisponde $CN = 100$; per $S \rightarrow \infty$ si ottiene $CN = 0$

È bene notare che la legge (2) non tiene conto della variazione dell'intensità della pioggia durante l'evento, ma solo del suo volume totale. In ogni caso è sempre possibile ridurre qualsiasi ietogramma, composto da diverse durate ed intensità, al corrispondente ietogramma "netto" applicando la (2) per intervalli successivi di intensità costante; in questo caso l'elemento j-esimo dello ietogramma netto varrà:

$$Q = Q(P = \sum_{K=1,j} P_K) - \sum_{K=1,K-1} Q_K$$

La relazione (2) da luogo graficamente, nel campo $Q-P$, ad una famiglia di curve a parametro S , ovvero CN , molto note in letteratura.

Dal punto di vista applicativo la stima indiretta del CN viene eseguita sulla base di tabelle, utilizzate anche nel modello SWAT, che fanno corrispondere i valori del CN ad un ricco elenco di usi del suolo, condizione idrica dello stesso e suo carattere di infiltrabilità; per quest'ultima caratteristica viene fatto riferimento a quattro categorie di suoli (hydrological soil group), denominati A, B, C, D in ordine di minore infiltrabilità (Tabelle 4.1, 4.2 e 4.3). La Tabella 4.2 mostra il noto quadro di corrispondenza tra i valori di CN ed alcuni complessi idrologici suolo-copertura proposto dal Soil Conservation Service.

In metodo del CN tiene conto, anche se in modo semplificato, del grado di saturazione del suolo all'inizio dell'evento considerato (Antecedent Moisture Condition, AMC). Vengono ipotizzati tre possibili condizioni iniziali di saturazione, denominate, in ordine crescente AMC I, AMC II, AMC III, a cui corrispondono valori di CN anch'essi crescenti, dedotti empiricamente.

La condizione AMC di saturazione iniziale del terreno viene individuata anche nel modello SWAT sulla base della altezza totale di pioggia verificatasi nei cinque giorni precedenti l'evento, tenendo conto del periodo vegetativo in atto, secondo quanto indicato nella Tabella 4.3.

Ricavato il più opportuno valore di CN II relativo alla condizione media AMC II dalla Tabella 4.2, il modello tiene conto della esistenza di diverse condizioni di umidità antecedenti (AMC I, AMC III) adottando i valori di CN I o CN III ciascuno o calcolati tramite la seguente relazione (Hawkins et al.,1985):

$$CN I = CN II / (2,281 - 0,01281 CN II)$$

$$CN III = CN II / (0,427 + 0,00573 CN II)$$

In SWAT la portata massima può essere valutata mediante la formula razionale modificata oppure il metodo SCS TR-55 (USDA, 1986) che è una procedura semplificata per la stima del deflusso e della portata al colmo in piccoli bacini; con quest'ultimo metodo la portata al colmo è stimata in base al tempo di corrivazione (T_c), calcolato come somma dei tempi necessari al deflusso per propagarsi in una specifica direzione di flusso del bacino.

La formula razionale modificata assume la seguente forma:

$$q = \frac{\alpha Q \times Area}{3.6 \times t_{conc}}$$

dove: q = portata massima (m^3/s)

Q = deflusso superficiale (mm)

$Area$ = area dell'HRU (km^2)

α = frazione di pioggia giornaliera che si ha durante il periodo di concentrazione

t_{conc} = tempo di corrivazione (h)

Il valore di α è calcolato come

$$\alpha = 1 - \exp[2t_{conc} \times \ln(1 - \alpha_{0.5})]$$

dove: t_{conc} = tempo di corrivazione (h)

$\alpha_{0.5}$ = frazione di pioggia giornaliera durante i trenta minuti di pioggia con intensità massima.

Il tempo di corrivazione è la somma dei tempi che la particella d'acqua impiega per percorrere il versante e il canale.

Il tempo che l'acqua impiega per percorrere la distanza dal punto più lontano del sottobacino al canale, t_{ov} (overland flow time), è dato da:

$$t_{ov} = \frac{L_{slp}^{0.6} n^{0.6}}{18slp^{0.3}}$$

dove: L_{slp} = lunghezza media del sottobacino (m)

n = coefficiente di scabrezza di Manning

slp_{ch} = pendenza media del sottobacino (m).

Il tempo che l'acqua impiega a percorrere il canale è dato da: $t_{ch} = \frac{0.62Ln^{0.76}}{Area^{0.125} slp_{ch}^{0.375}}$

dove: L = lunghezza del canale (km)

n = coefficiente di scabrezza di Manning del canale

$Area$ = area dell'HRU (km²)

slp_{ch} = pendenza del canale (mm)

Per il singolo sottobacino delineato in SWAT, il contributo del deflusso profondo al deflusso nel canale è simulato tramite un accumulo d'acqua nello strato di acquifero superficiale (Arnold et al., 1993). Il modello si basa sul presupposto che si ha il fenomeno della percolazione quando viene superata la capacità di campo del suolo e se lo strato sottostante non è saturo; inoltre la quantità d'acqua che percola oltre la zona radicale può ricaricare lo strato di acquifero superficiale. Il percorso dell'acqua attraverso la rete idrica delineata dal modello è effettuato usando il *Variable Storage Routine Method* (Williams, 1969) o il *Muskingum Routing Method* (Overton, 1966).

Tabella 4.1 – Determinazione del gruppo idrologico del suolo (SCS-USDA, 1972)

Campo di variazione dell'indice sommatoria	Gruppo Idrologico
0-5	A
6-10	B
11-15	C
16-19	D

Tabella 4.2 Valori del CN per la condizione AMC II corrispondenti a diversi usi del suolo, tipi di sistemazione e di lavorazione del terreno, condizioni e gruppi idrologici (SCS-USDA, 1972).

Uso del suolo	Sistemazioni	Condizione idrologica	Gruppo idrologico del suolo			
			A	B	C	D
Terra battuta	-	-	59	74	82	86
Terreno nudo o arato	rittochino	-	77	86	91	94
Colture in filari (mais, vigneti, arboreti)	rittochino	povera	72	81	88	91
		buona	67	78	85	89
	per traverso	povera	70	79	84	88
		buona	65	75	82	86
	per traverso e con terrazzi	povera	66	74	80	82
		buona	62	71	78	81
Cereali a seme piccolo (grano, sorgo)	rittochino	povera	65	76	84	88
		buona	63	75	83	87
	per traverso	povera	63	74	82	85
		buona	61	73	81	84
	per traverso e con terrazzi	povera	61	72	79	82
		buona	59	70	78	81
Erba medica ed altre leguminose in rotazione	rittochino	povera	66	77	85	89
		buona	58	72	81	85
	per traverso	povera	64	75	83	85
		buona	55	69	78	83
	per traverso e con terrazzi	povera	63	73	80	83
		buona	51	67	76	80
Prati e incolti pascolabili	-	povera	68	79	86	89
		media	49	69	79	84
		buona	39	61	74	80
	per traverso	povera	47	67	81	88
		media	25	59	75	83
		buona	6	35	70	79
Prati perenni e semiperenni	-	buona	30	58	71	78
Bosco	-	povera	45	66	77	83
		media	36	60	73	79
		buona	25	55	70	77
Strade	in asfalto	-	98	98	98	98
	in ghiaietto	-	76	85	89	91
	in terra battuta	-	72	82	87	89

Tabella 4.3 Determinazioni delle condizioni di saturazione del suolo antecedenti l'evento di saturazione (SCS-USDA, 1972)

Somatoria delle precipitazioni nei 5 giorni precedenti l'evento (mm)		Classe di AMC
Stagione di stasi	stagione di crescita	
< 12.7	< 35.6	I
12.7-28	35.6-53.3	II
> 28	> 53.3	III

4.3 Componente erosiva del modello

In ogni HRU, SWAT calcola la produzione di sedimenti mediante *l'equazione universale della perdita di suolo modificata* (MUSLE) sviluppata da Williams e da Berndt (1977). Nella MUSLE il fattore di aggressività della pioggia dell'*equazione universale della perdita di suolo* (USLE), è sostituito dal fattore di deflusso che rappresenta l'energia necessaria per distaccare e trasportare le particelle di suolo alla sezione di chiusura del bacino.

La produzione di sedimenti da ogni HRU è calcolata come:

$$sed = 11.8(Qq \times Area)^{0.56} \times K \times C \times P \times LS \times CFRG$$

dove: *sed* = produzione di sedimenti (ton)

Q = deflusso superficiale (mm)

q = portata massima (m³/s)

Area = area dell'HRU (km²)

K = fattore di erodibilità del suolo della USLE

C = fattore di copertura colturale della USLE

P = fattore di pratica colturale della USLE

LS = fattore topografico della USLE

CFRG = fattore della frazione grossolana.

Il deposito all'interno del canale e il trasporto di sedimenti dal sottobacino alla sezione di chiusura dipende dalla velocità di sedimentazione della particella che nel modello

SWAT viene calcolata usando la Legge di Stoke (Chow et *al.*, 1988) in funzione del quadrato del diametro delle particelle. La produzione di sedimenti è calcolata per ciascuna classe dimensionale come funzione lineare della velocità di caduta, del tempo di trasporto e della velocità di flusso. L'erosione del canale è basata sul concetto di "stream power" di Bagnold (Bagnold, 1977; Williams, 1980).

La quantità massima di sedimento che può essere trasportata in un canale è determinata da:

$$conc_{sed, ch, mx} = c_{sp} v_{ch, pk}^{sp \ exp}$$

dove: $conc_{sed, c, mx}$ = massima concentrazione di sedimento che può essere trasportata o capacità di trasporto del canale (t/m³)

$v_{ch, pk}$ = velocità massima nel canale (m/s)

c_{sp} and $sp \ exp$ = costanti definite dall'utente.

La velocità massima nel canale è definita come

$$v_{ch, pk} = \frac{q_{ch, pk}}{A_{ch}}$$

dove: $q_{ch, pk}$ = portata massima (m³/s)

A_{ch} = area della sezione trasversale del flusso nel canale.

La portata massima è calcolata come:

$$q_{ch, pk} = prf \ q_{ch}$$

dove: prf = fattore di adattamento al picco,

q_{ch} = portata media del flusso (m³/s).

4.4 Costruzione dei file di input

La principale fonte utilizzata per il reperimento dei dati climatici è stata la banca dati dell'Osservatorio delle acque della Regione Siciliana ¹.

In particolare per l'implementazione della precipitazione nel bacino Ragoletto sono stati utilizzati i dati di precipitazione giornaliera relativi alle stazioni di Chiaramonte,

¹ Vedi: <http://www.osservatorioacque.it>

Ragusa, Grammichele, Francofonte, Palazzolo Acreide, Licodia Eubea, Monterosso e Vizzini, localizzate dentro e appena fuori il bacino Ragoletto (Figura 3.2). In particolare per la costruzione del file relativo alla precipitazione, per il periodo dal 1960 al 31 dicembre 2002, sono state utilizzate dal modello le stazioni di Licodia Eubea, Monterosso e Vizzini, localizzate all'interno del bacino; dal 1 gennaio 2003 fino al 2008, non essendo più disponibili i dati di queste tre stazioni, sono stati utilizzati i dati delle stazioni Chiaramonte, Palazzolo e Ragusa, esterne al bacino Ragoletto, ma comunque non distanti dalle stazioni precedentemente utilizzate e localizzate ad una quota simile. E' stato necessario utilizzare i dati di queste ultime 3 stazioni poiché il generatore di pioggia del modello SWAT non è stato in grado di simulare, per il periodo mancante, dati di precipitazione attendibili per gli anni successivi al 2003 utilizzando i dati degli anni precedenti (il coefficiente di deflusso simulato era notevolmente diverso da quello del periodo precedente e da quello osservato). I dati di precipitazione raggruppati a scala mensile e annua sono riportati in Appendice F.

In Tabella 4.4 sono elencate le stazioni utilizzate, rappresentate in Figura 4.2. In tabella 4.5 è rappresentata la disponibilità di precipitazioni giornaliere per le varie stazioni nel periodo considerato (1960 – 2008).

In tabella 4.4 sono elencate le stazioni utilizzate, con indicazione delle coordinate. In Tabella 4.5 è rappresentato il periodo di funzionamento delle stazioni utilizzate per il periodo considerato (1960 – 2008).

Tabella 4.4 Stazioni di misura utilizzate per la costruzione dei files climatici nel bacino Ragoletto

Nome stazione	m s.l.m.	X_LONG metri (UTM)	Y_LAT metri (UTM)
Licodia Eubea (RG)	331	472460	4108229
Monterosso Almo (RG)	667	479260	4104210
Comiso Monacazza (RG)	220	463629	4096752
Ragusa Cilone (RG)	650	471241	4089982
Mineo Covoni (CT)	200	475760	4130521
Francofonte Masarischi (SR)	100	490607	4122166
Grammichele (CT)	526	466282	4118236
Vizzini (CT)	610	477804	4113458
Chiaramonte (RG)	680	473380	4098680
Palazzolo Acreide Pai (SR)	640	488592	4101771

Per l'implementazione di temperatura, umidità dell'aria, velocità del vento a 2 metri di altezza e radiazione solare è stata utilizzato il generatore climatico presente in SWAT sulla base di parametri statistici di lungo periodo. Per la simulazione dei dati di evapotraspirazione potenziale è stato scelto il metodo di Priesley –Taylor che ha dato i risultati migliori rispetto agli metodi implementati in SWAT in applicazioni del modello in area Mediterranea (Licciardello et *al.*, 2010)

Tabella 4.5 Dati utilizzati per il calcolo delle precipitazioni e della temperatura giornaliera per il periodo 1960 - 2008 nel bacino Ragoletto. Le parti in grigio indicano visivamente il periodo temporale di funzionamento della stazione indicata.

stazioni	1960 1965	1966 1970	1971 1975	1976 1980	1981 1985	1986 1990	1991 1995	1996 2000	2001 2005	2006 2008
Chiaromonte										
Ragusa										
Gramm.le										
Francofonte										
Palazzolo										
Licodia										
Monterosso										
Vizzini										

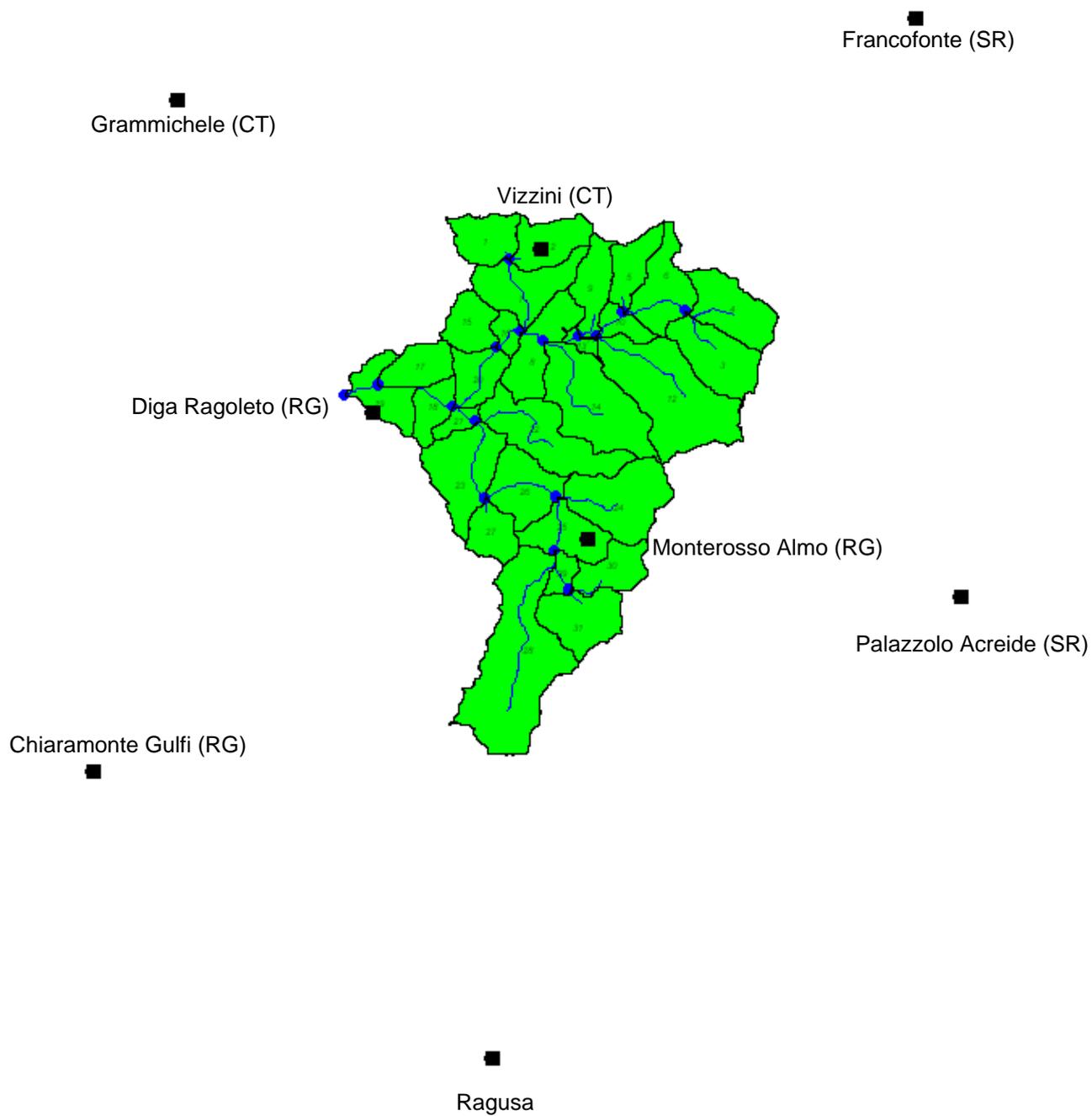


Figura 4.2 Ubicazione stazioni climatiche

Per il DEM del bacino Ragoletto (Figura 4.3), è stato utilizzato quello messo a disposizione dal Portale Cartografico nazionale, avente risoluzione 20 m x 20 m (<http://www.pcn.minambiente.it>). Per l'implementazione dei files di uso e di tipo di suolo del bacino Ragoletto, sono state utilizzate le informazioni contenute nelle carte tematiche disponibili relativa alla Carta Pedologica e di Uso del suolo (AGIP Petroli, 2005).

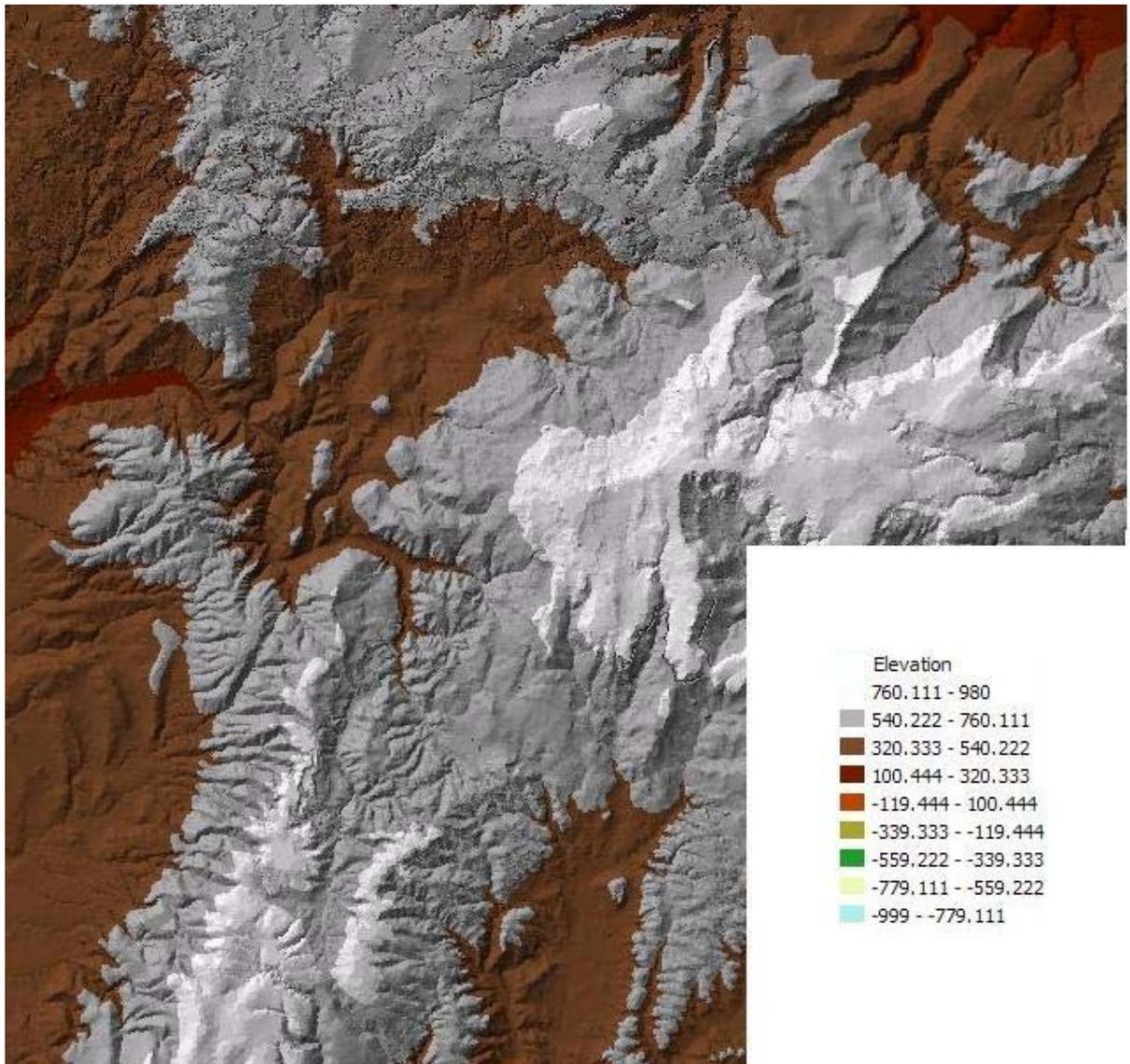


Figura 4.3 Digital Elevation Model 3D e delimitazione del bacino Ragoletto realizzata in ArcView

Le carte tematiche si compongono ciascuna di 3 Tavole a scala 1:10.000 comprendenti le sezioni della Carta Tecnica Regionale n° 645010 – 645020 – 645030 – 645050 – 645060 – 645070 – 645090 – 645100 – 645130 – 645140 con curve di livello equidistanti di 10 metri. La Tavola 1 comprende le sezioni della Carta Tecnica

Regionale a scala 1:10.000 n° 645010 – 645050. La Tavola 2 comprende le sezioni della Carta Tecnica Regionale a scala 1:10.000 n° 645020 – 645030 – 645060 - 645070. La Tavola 3 comprende le sezioni della Carta Tecnica Regionale a scala 1:10.000 n° 645090 – 645100 – 645130 - 645140. In particolare tramite il software Geomedia professional 5.1 sono state digitalizzate tutte le aree con tipo e uso di suolo diverso per realizzare rispettivamente la mappa di tipo e uso di suolo. I files ottenuti sono stati esportati come *raster* con la stessa risoluzione del DEM (20 m), per essere gestibili dall'interfaccia SWAT supportata da Arcview.

Per l'implementazione del file relativo al tipo di suolo è stato costruito tramite l'interfaccia SWAT un database per ciascuno dei 9 tipi di suolo individuati nel bacino (Figura 4.4), utilizzando dati di tessitura riportati nello studio (AGIP Petroli 2005).

I restanti parametri caratterizzanti il tipo di suolo sono stati fissati uguali a quelli di default del modello considerando suoli con caratteristiche simili a quelli individuati nel bacino.

Per l'implementazione del file relativo all'uso del suolo sono stati scelti dal database contenuto in SWAT gli usi del suolo corrispondenti ai 6 individuati nel bacino nella carta di uso del suolo (AGIP Petroli 2005). Relativamente all'uso del suolo sono stati scelti i valori di CN disponibili nel database di SWAT. In particolare per il pascolo, il seminativo ed il bosco sono stati scelti i CN relativi alla condizione idrologica "Povera".

Dalla mappa del deflusso si può notare che i sottobacini in cui si generano le altezze di deflusso maggiori (72-258 mm/anno) sono caratterizzate da precipitazioni più elevate (Appendice H) e da una presenza prevalente di roccia affiorante, nel caso specifico rappresentata da calcari, calcareniti, vulcaniti, arenarie e argille (Figura 4.4).

Dalla mappa della produzione di sedimenti (t/ha) si può vedere come i sottobacini in cui si ha una maggiore produzione sono caratterizzati dalla presenza prevalente di seminativi, arborati e vigneti.

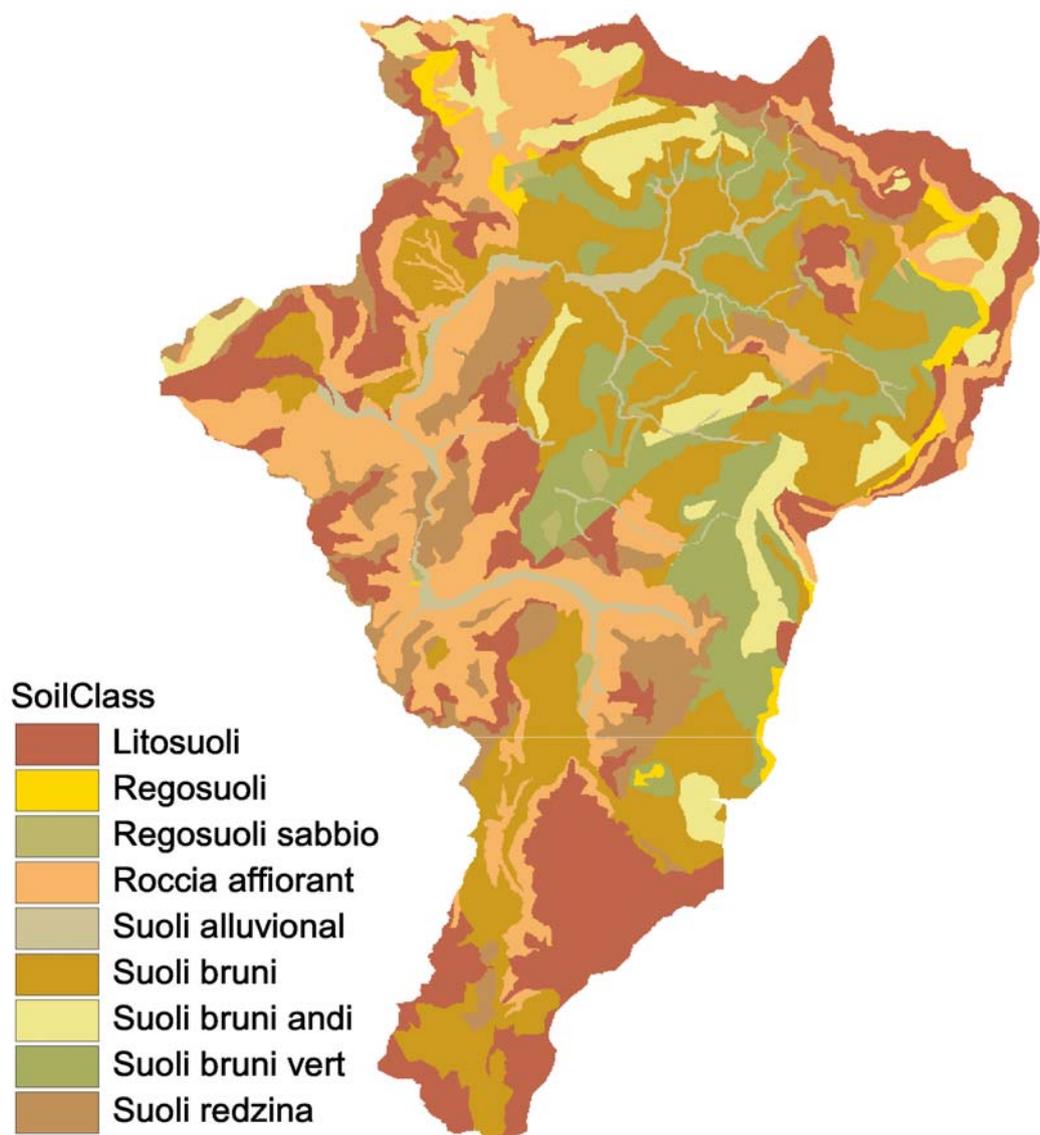


Figura 4.4 Mappa del tipo di suolo nel bacino Ragoletto elaborata da SWAT

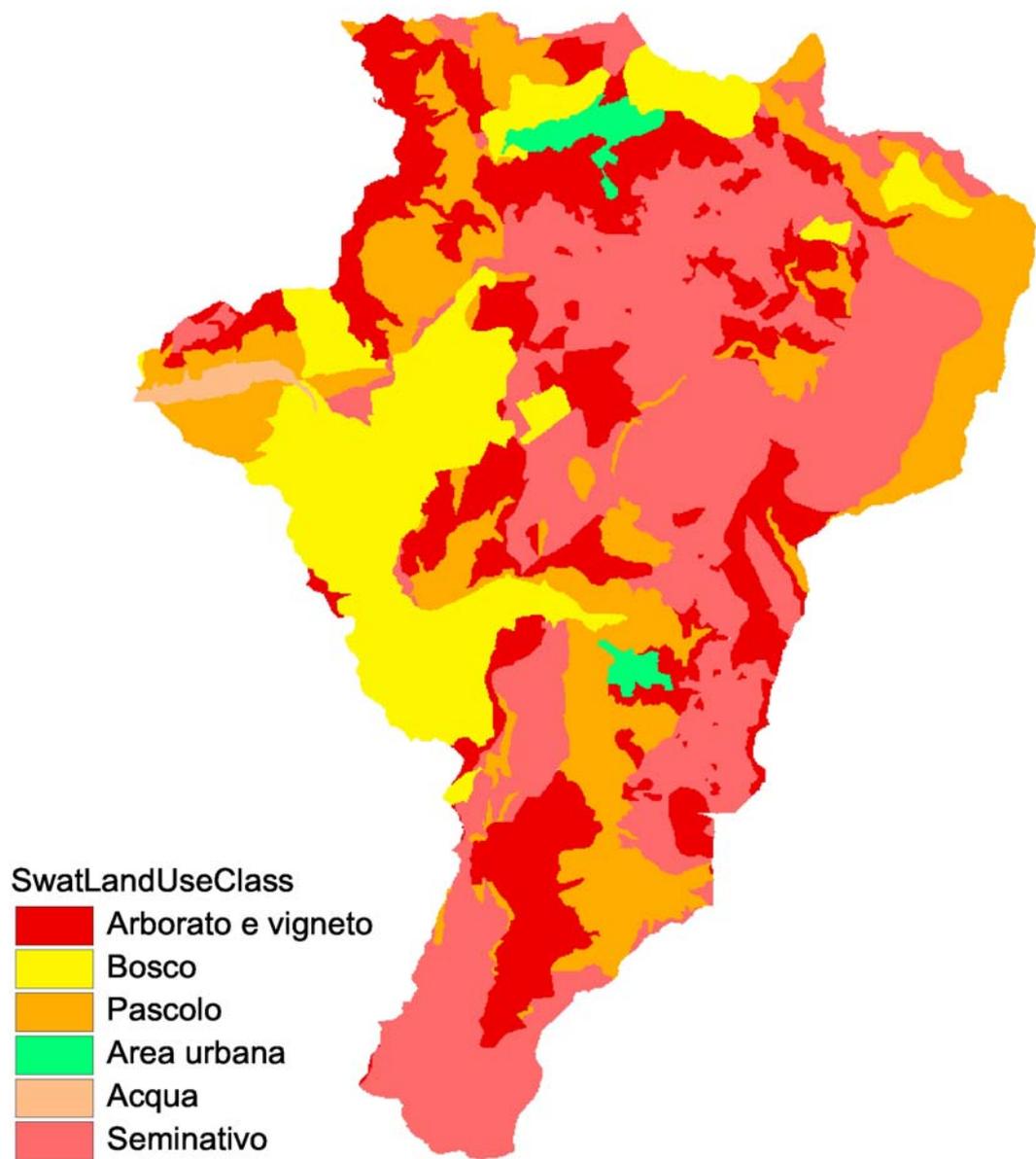


Figura 4.5 Mappa dell'uso del suolo nel bacino Ragoletto elaborata da SWAT

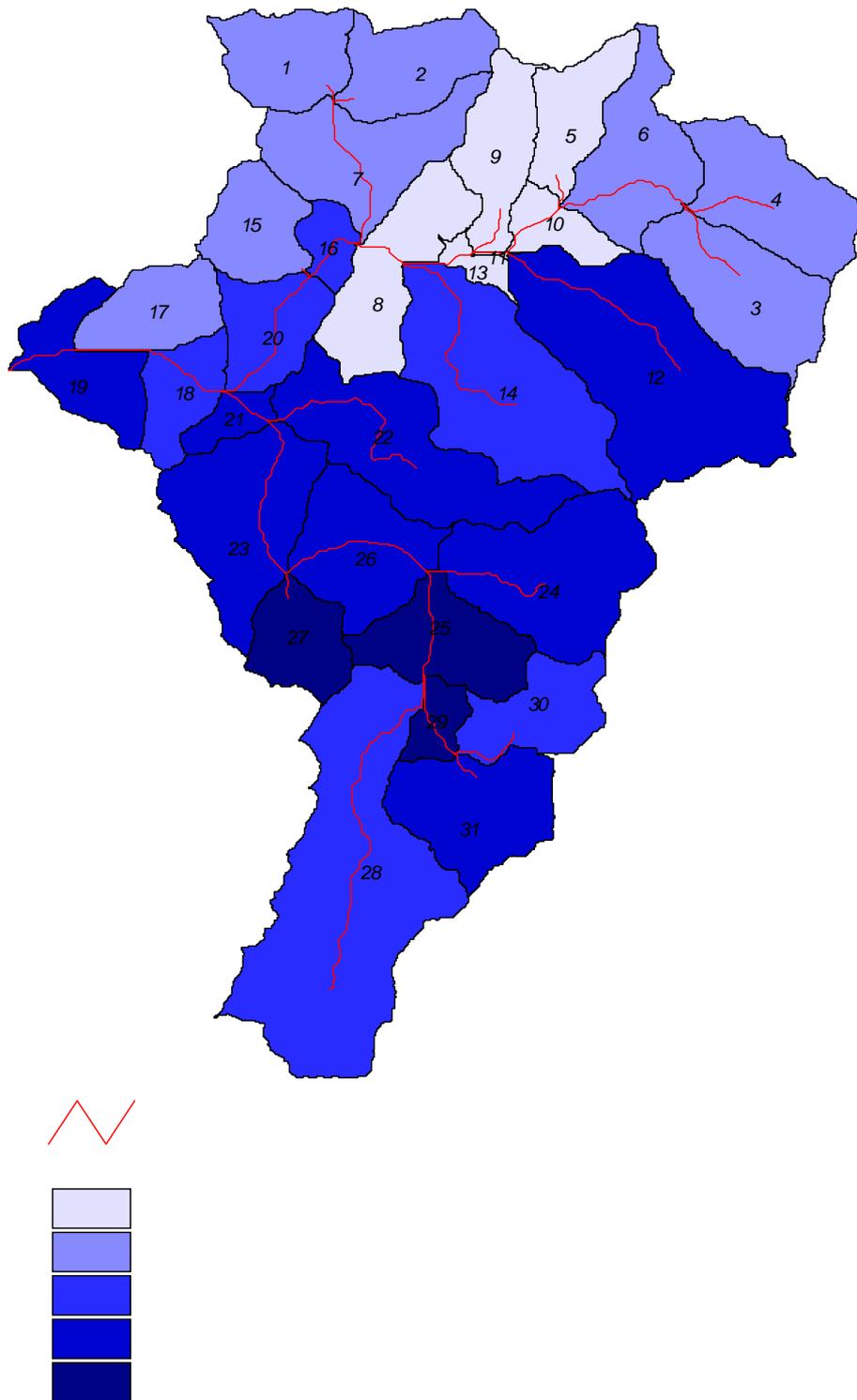


Figura 4.6 Valori di deflusso medio annuo (mm) simulati da SWAT per i diversi sottobacini nel periodo 1960-2008

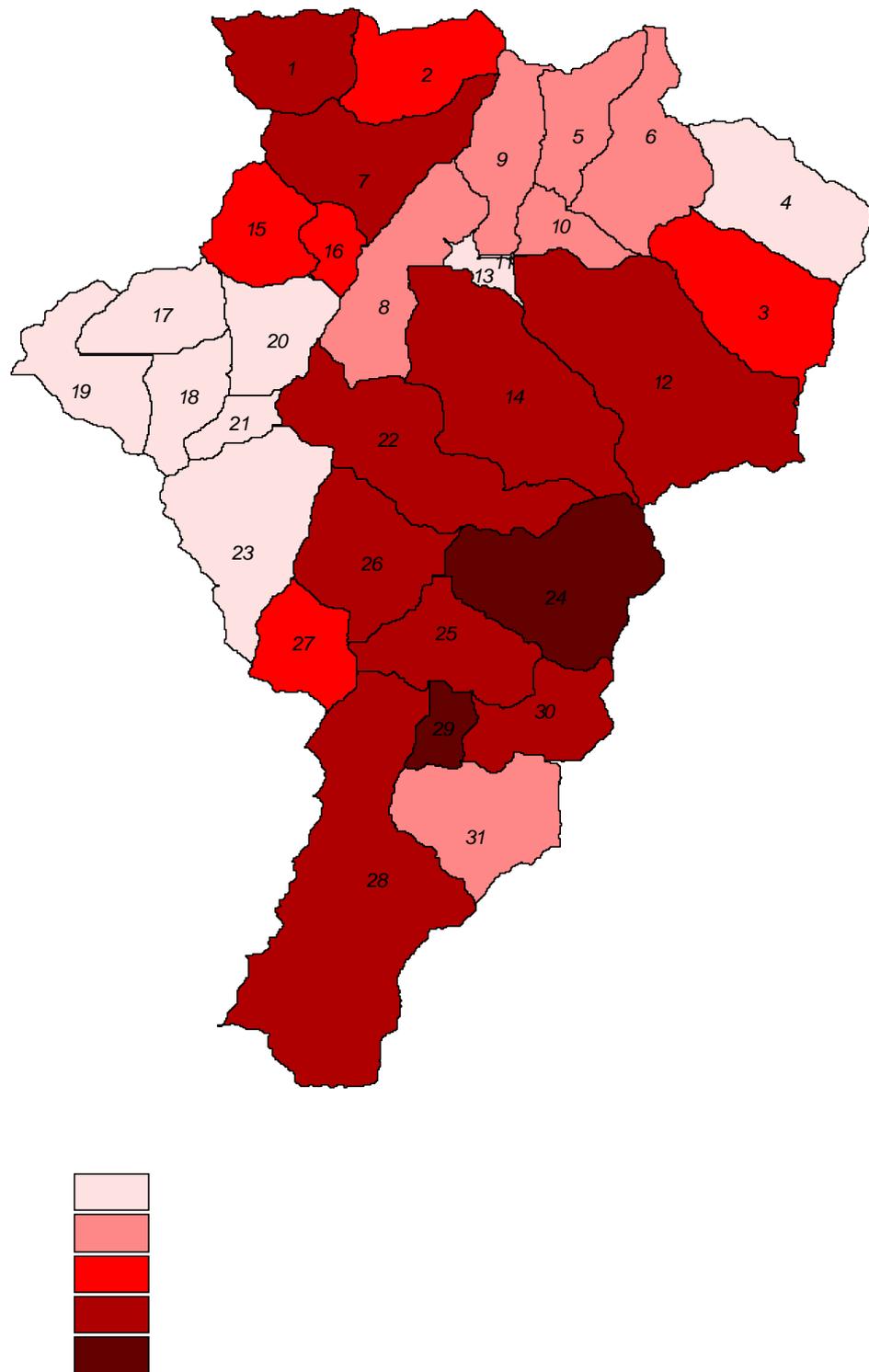


Figura 4.7 Valori di produzione di sedimenti media annua (t/ha) simulati da SWAT per i diversi sottobacini nel periodo 1960-2008

4.5 Metodologia di stima dei parametri e dati in ingresso al modello

Il modello SWAT è stato applicato in continuo utilizzando i dati climatici registrati nel bacino Ragoletto nel periodo dal 1960 al 2008. Per l'implementazione del modello SWAT è stato necessario impostare la proiezione del sistema di riferimento in cui sono state elaborate le mappe di uso e tipo di suolo, nonché il DEM. Nel presente caso è stato usato il sistema UTM zona 33 (sferoide WGS 84). La delimitazione del bacino è stata eseguita dal modello stesso, utilizzando il DEM e fissando la sezione di chiusura del bacino coincidente con la diga Ragoletto. Per la realizzazione del reticolo idrografico è stata fissata un'area di soglia (area di drenaggio minima necessaria per dare inizio ad un'asta del reticolo idrografico) pari a 200 ha, (come suggerito dal modello stesso) questo ha consentito di dividere il bacino in 31 sottobacini (Figura 4.8).

Il bacino è stato suddiviso in 192 HRUs avendo scelto l'opzione *Multiple Hydrologic Response Units* per tenere conto nella definizione delle HRUs delle zone con diverso tipo e uso del suolo aventi area pari al 10% del totale.

Il suolo è stato parametrizzato considerando un unico strato con caratteristiche omogenee. Per ciascuno dei 9 tipi di suolo presenti nel bacino le proprietà fisiche relative alla tessitura (Figura 4.9) sono state assegnate mediando le frazioni di sabbia, argilla, limo, sostanza organica e roccia dei campioni di terreno presenti nello studio (AGIP Petroli, 2005).

Per ciascuno degli usi del suolo individuati nel bacino ovvero seminativo semplice, pascolo, aree degradate e/o incolte, colture arboree (uliveto, agrumeto, mandorleto, etc.), aree boscate, vigneti, aree urbanizzate, sono state fornite tramite il *management file* (Figura 4.10) informazioni sulle specie vegetali selezionate tra quelle contenute nella banca dati di SWAT, in particolare attribuendo al pascolo il *rangeland* (rnge), al seminativo semplice il *winter wheat* (wwht), all'arborato e al vigneto l'*agricultural land* (agrl), al bosco il *forest evergreen* (frse), alle aree urbane l'*urban medium density* (urmd) e all'acqua contenuta nell'invaso *wather* (watr).

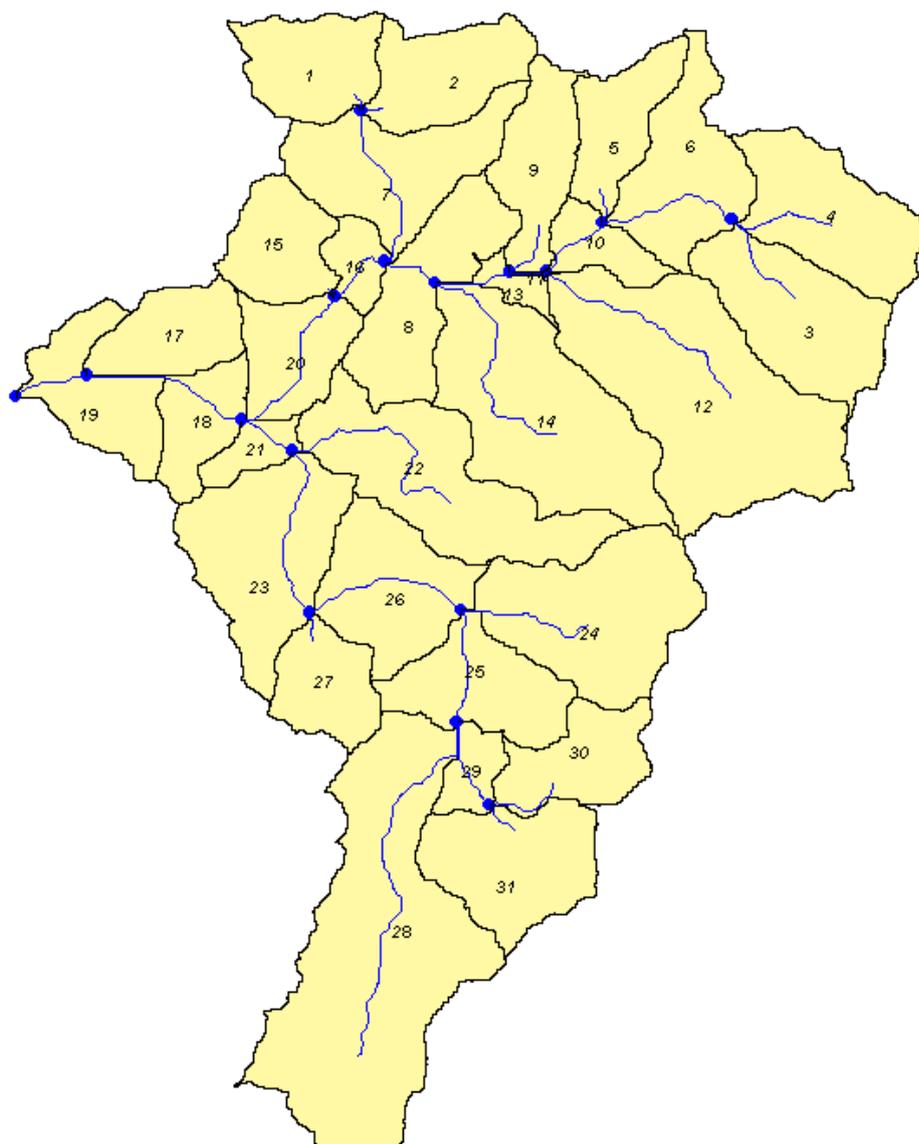


Figura 4.8 Suddivisione in sottobacini e rete idrografica del bacino di alimentazione del serbatoio Ragoletto ottenuta con SWAT

Il numero delle unità di calore richieste per portare una pianta a maturazione è stato scelto pari a 2800 °C per tutte le specie vegetali scelte, come risulta da dati di letteratura relativi ad altri bacini siciliani (Licciardello *et al* 2005). E' stato usato un unico valore di Curve Number per tutto il periodo di simulazione per tutti gli usi del suolo. Il modello SWAT è stato applicato in continuo, effettuando un periodo di simulazione da primo gennaio 1960 al dicembre 2008.

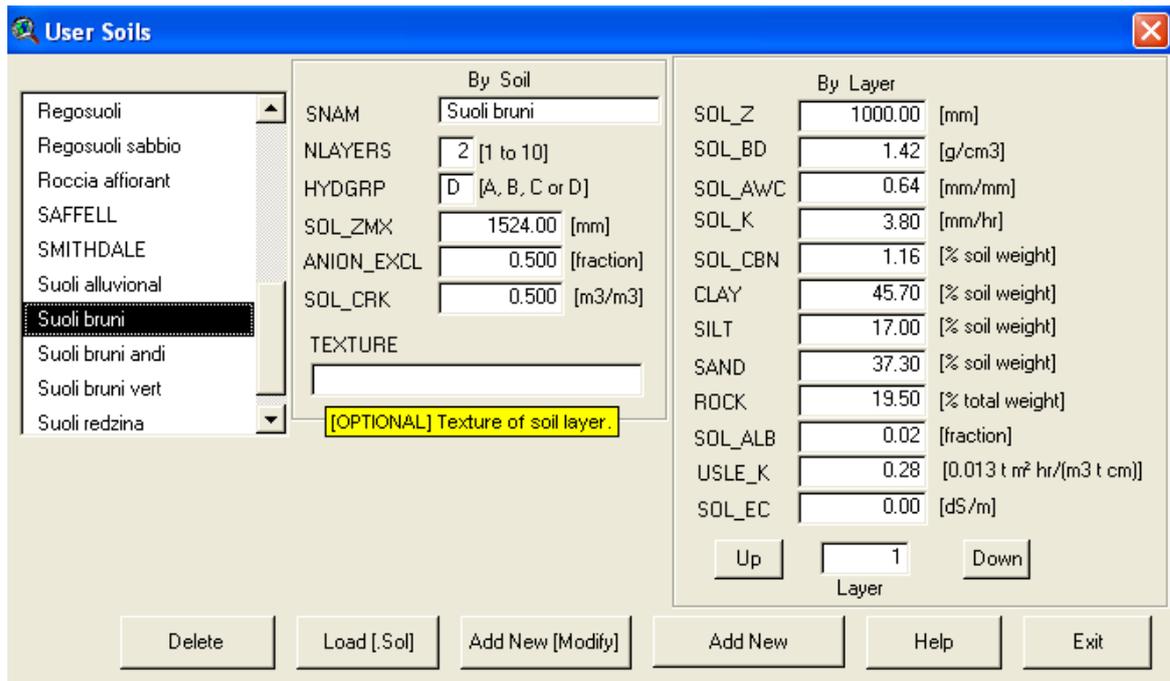


Figura 4.9 Parametri relativi ai tipi di suolo *Suoli bruni* inseriti in SWAT

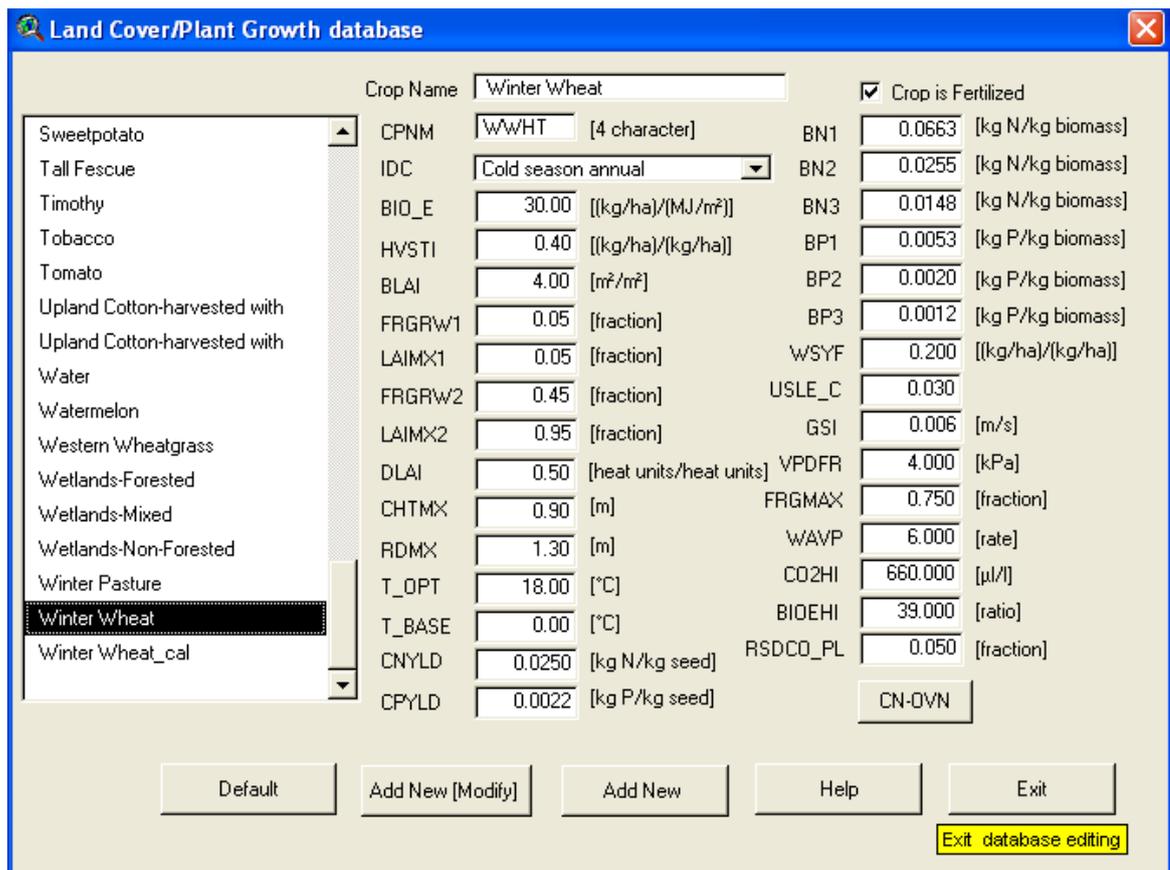


Figura 4.10 Parametri relativi all'uso del suolo *Seminativo* inserito in SWAT

CAPITOLO 5

Risultati delle applicazioni del modello SWAT

5.1 Parametri statistici utilizzati per la valutazione del modello SWAT

La prestazione del modello è stata valutata attraverso metodologie qualitative e quantitative. In particolare, per quanto riguarda la valutazione qualitativa, si è proceduto confrontando visivamente i grafici dei valori osservati e simulati. Inoltre, le diverse componenti del modello sono state valutate quantitativamente a diverse scale temporali sia mediante il coefficiente di determinazione (R^2), sia utilizzando delle misure statistiche di sintesi e di differenza (riferite a scarti o errori) (Tabella 4.1) come suggerito in molti lavori (Willmott et al, 1982. Legates and McCabe, 1999; Krause et al, 2005). Come misure di sintesi sono state scelte la media e la deviazione standard dei valori osservati e simulati. Dato che R^2 è un criterio di valutazione insufficiente e spesso fuorviante (poiché descrive quanto della dispersione osservata possa essere spiegata con la previsione) per valutare l'efficienza del modello sono stati utilizzati il coefficiente di efficienza (E) (Nash and Sutcliffe, 1970) e la sua forma modificata (E_1). In particolare i risultati di E sono più sensibili ai valori estremi, mentre E_1 interpreta meglio significative sovra o sotto-stime, riducendo gli effetti dei termini quadratici (Legates and McCabe, 1999; Krause et al, 2005). Come suggerito dagli stessi autori, E ed E_1 sono stati integrati con la radice dell'errore quadratico medio (RMSE), che descrive la differenza tra i valori osservati e simulati nell'unità di misura della variabile. Inoltre, seguendo Willmott et al. (1982), sono stati quantificate la parte "sistematica" (RMSEs) e "non sistematica" (RMSEu) dell'errore. La prestazione del modello viene considerata buona quando l'errore "sistematico" (RMSEs) si avvicina a zero, mentre l'errore "non sistematico" (RMSEu) è vicino a RMSE. Inoltre, il coefficiente di massa residua (CRM) è stato utilizzato per indicare la prevalente sovra o sottostima dei valori osservati (Loague e Green, 1991; Chanasyk et al, 2003).

I valori considerati ottimali per tali criteri sono rispettivamente 1 per R^2 , E ed E_1 , e 0 per RMSE e CRM (Tabella 5.1). In particolare, il valore 1 per il coefficiente di determinazione significa che la dispersione dei valori simulati è uguale a quella dei valori osservati. Inoltre, secondo prassi comune (Van Liew e Garbrecht, 2003), i risultati della simulazione, a scala annua, sono considerati buoni per valori di E

maggiore o uguale a 0,75, soddisfacenti per valori di E tra 0,75 e 0,36, insoddisfacente sotto 0,36.

Tabella 5.1 Coefficienti e differenti misure per modelli di valutazione e loro intervallo di variabilità.

Coefficienti di misura	Equazione	Intervallo di variazione
Coefficiente di Deteminazione	$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right]^2$	0 a 1
Coefficiente di Efficienza (Nash and Sutcliffe, 1970)	$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$	-∞ a 1
Coefficiente di Efficienza modificato (Willmott, 1981)	$E_1 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n O_i - P_i }{\sum_{i=1}^n O_i - \bar{O} }$	-∞ a 1
Radice dell'errore quadratico medio	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}$	0 a ∞
Radice dell'errore quadratico medio sistematico (RMSEs) (Willmott, 1981)	$RMSE_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{P}_i - O_i)^2}{n}}$	0 a ∞
Radice dell'errore quadratico medio non sistematico (RMSEu) (Willmott, 1981)	$RMSE_u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \hat{P}_i)^2}{n}}$	0 a ∞
Coefficiente di massa residua (CRM) (Loague and Green, 1991; Chanasyk et al., 2003)	$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i}$	-∞ a ∞

Dove: n= numero di osservazioni

O_i, P_i= valori previsti e osservati al tempo i.

\bar{O} = media dei valori osservati.

\hat{P}_i = valore dell'equazione di regressione previsto al tempo i.

5.2. Analisi delle simulazioni dei deflussi superficiali

I deflussi calcolati con la procedura descritta nel cap. 2 sono stati utilizzati per la valutazione del modello a scala annua e mensile. In particolare, il periodo 1980-1990 è stato utilizzato per la calibrazione e il periodo 1991-2008 è stato usato per la validazione. La suddivisione scelta ha tenuto in considerazione la presenza di anni piovosi o asciutti in entrambi i periodi (Green et al., 2006).

Durante il processo di calibrazione è stato necessario correggere il parametro SLSUBBSN (nel file .hru) che indica la distanza dal contorno del sottobacino a cui il deflusso inizia a incanalarsi nei rills. Tale distanza dovrebbe essere compresa tra 10 e 180 m, ma nei sottobacini 16, 18, 19, 20, 21, 23, 25, 26, 27, 29 aventi pendenza superiore a 26% il modello assegna di default un valore di 0.050 m; tale valore è stato fissato manualmente pari a 10 m.

In tabella 5.1 sono riportati i parametri statistici relativi alla calibrazione/validazione del modello a scala annua e mensile per il bacino Ragoletto. Essendo il volume di deflusso complessivo stimato per il periodo di calibrazione 1980-1990 (1385 mm) di poco superiore (2 %) a quello osservato (1358 mm), si può affermare che il modello riesce a simulare i deflussi nel lungo periodo. La simulazione è risultata buona a scala annua e mensile ($E > 0,82$) con valori bassi di RMSE (62 mm e 13 mm rispettivamente) e CRM (-0,02). Come atteso, il coefficiente E_1 essendo meno influenzato dai picchi (Krause et al., 2005) risulta inferiore ad E rimanendo comunque soddisfacente ($> 0,51$). $RMSE_u$ è risultato maggiore di $RMSE_s$ sia a scala annua che mensile indicando la buona performance del modello SWAT (Willmott, 1982) (Tabella 5.1).

Dalla Figura 5.1 si può notare che 5 degli 11 anni simulati nel periodo di calibrazione vengono sovrastimati (fino a 94%), mentre i restanti anni vengono sottostimati (fino a 34%). Il coefficiente di deflusso medio annuo osservato e simulato per il periodo di calibrazione risulta pari a 0.19. I deflussi mensili più significativi verificatisi nel novembre 1984, gennaio e febbraio 1985 e novembre 1986 (> 50 mm) vengono tutti sottostimati dal modello (Figura 5.2) (fino a 80%).

Dati i buoni risultati ottenuti per i volumi di deflusso nel periodo di calibrazione, non è stato necessario cambiare i parametri di calibrazione relativi alla componente idrologica e di validare il modello per il periodo 1991-2008.

La performance del modello per il periodo di validazione è risultata soddisfacente sia a scala annua che mensile con valori di E maggiori di 0,47. Comunque una sottostima dei deflussi viene evidenziata dagli alti valori di RMSE e dal valore positivo di CRM (Tabella 5.1). Questa tendenza è principalmente dovuta alla significativa sottostima del deflusso nell'anno 2006 (circa 59%) (Figura 5.1b).

La tendenza alla sottostima dei valori più significativi (> 100 mm) si evidenzia anche a scala mensile (Figura 5.2).

Tabella 5.2 Valori dei parametri statistici relativi al processo di calibrazione/validazione dei volumi di deflusso a scala annua e mensile nel bacino Ragoletto

	Media (mm)	Deviazione standard (mm)	R ²	E	E ₁	RMSE (mm)	RMSE _s (mm)	RMSE _u (mm)	CRM
Calibrazione									
A. Scala annua (1980 – 1990)									
Osservati	123,47	81,58	-	-	-	-	-	-	-
Simulati	125,91	77,00	0,82	0,82	0,53	61,68	30,56	53,58	-0,02
Scala mensile (1980 – Dec 1990)									
Osservati	10,30	3,75	-	-	-	-	-	-	-
Simulati	10,49	3,63	0,86	0,85	0,51	13,03	8,06	10,43	-0,02
Validazione									
Scala annua (1991 – 2008)									
Osservati	171,30	93,30	-	-	-	-	-	-	-
Simulati	156,83	107,02	0,56	0,57	0,39	147,55	114,02	62,40	0,08
Scala mensile (1991 – 2008)									
Osservati	14,28	52,92	-	-	-	-	-	-	-
Simulati	13,43	22,37	0,67	0,47	0,31	50,67	16,07	26,53	0,09

Dove:

- R² = coefficiente di determinazione
- E = coefficiente di efficienza (Nash et Sutcliffe, 1970)
- E₁ = coefficiente di efficienza modificato (Willmott, 1981)
- RMSE = radice dell'errore quadratico medio
- RMSE_s = radice dell'errore quadratico medio sistematico (Willmott, 1981)
- RMSE_u = radice dell'errore quadratico medio non sistematico (Willmott, 1981)
- CRM = Coefficiente di massa residua (Loague et Green, 1991; Chanasyk et al., 2003)

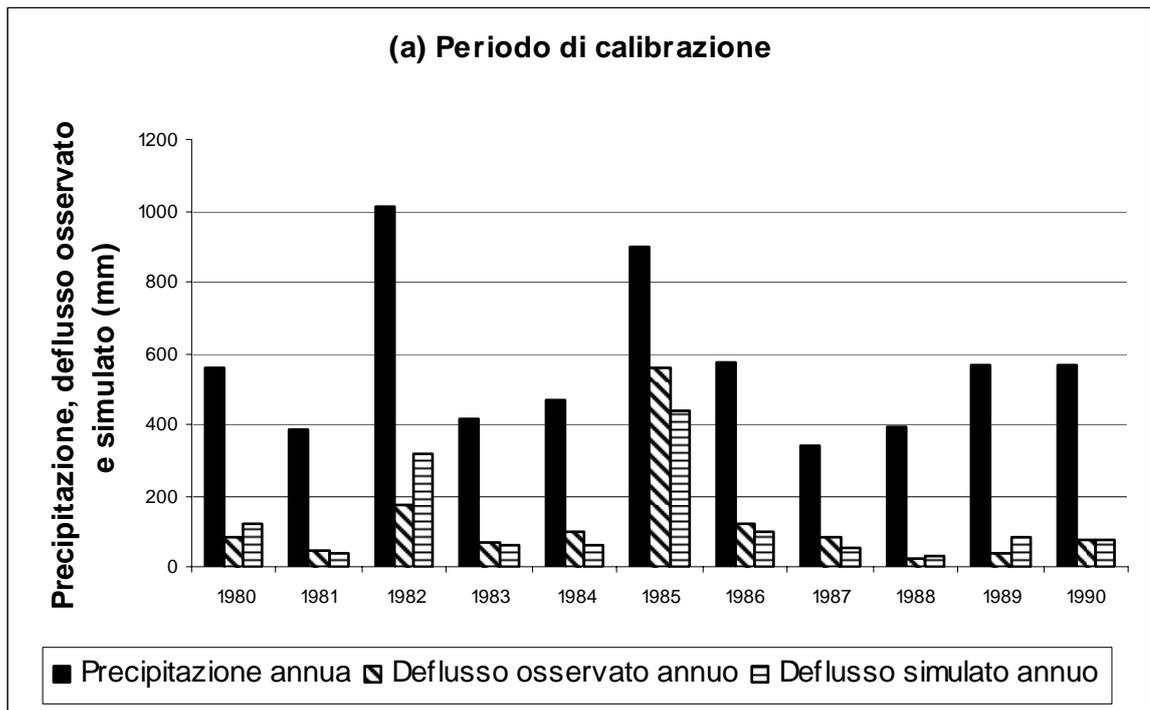


Figura 5.1 (a) Precipitazione e volumi di deflusso annui osservati e simulati nel bacino Ragoletto nel periodo di calibrazione

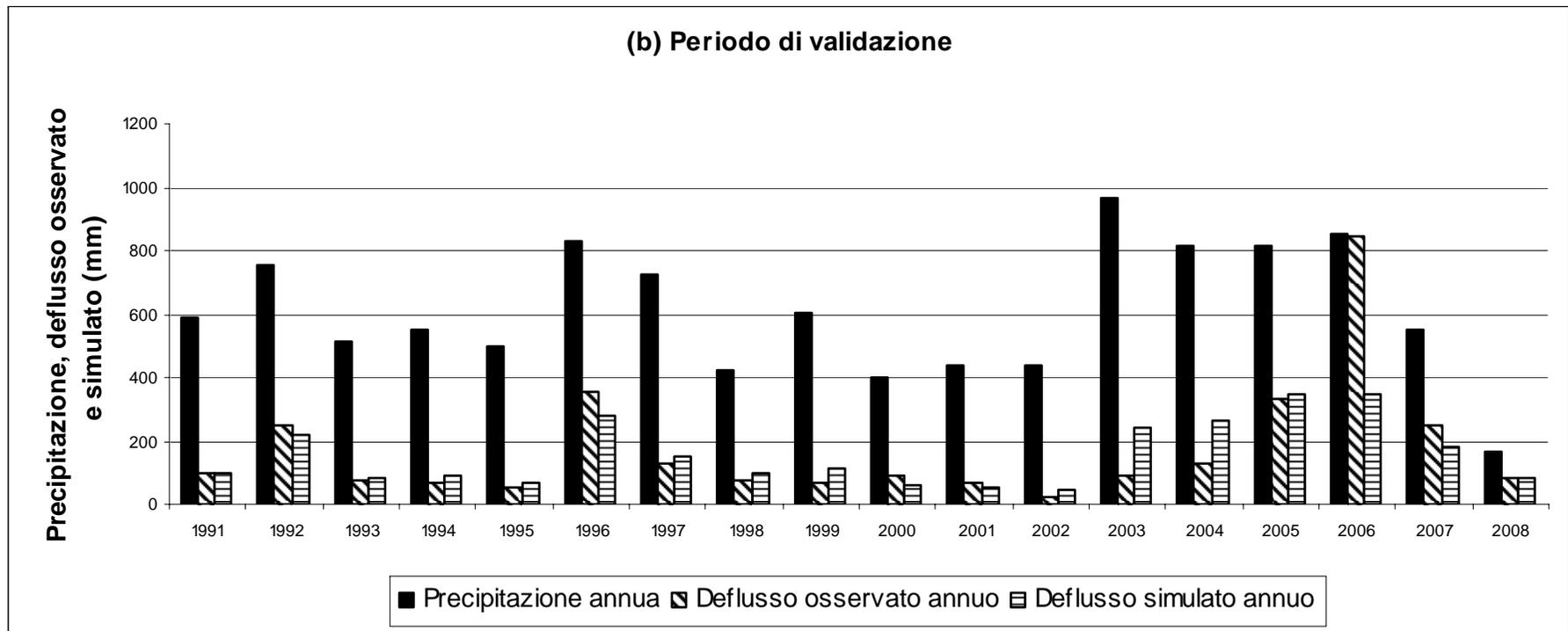


Figura 5.1 (b) Precipitazione e volumi di deflusso annui osservati e simulati nel bacino Ragoletto nel periodo di validazione

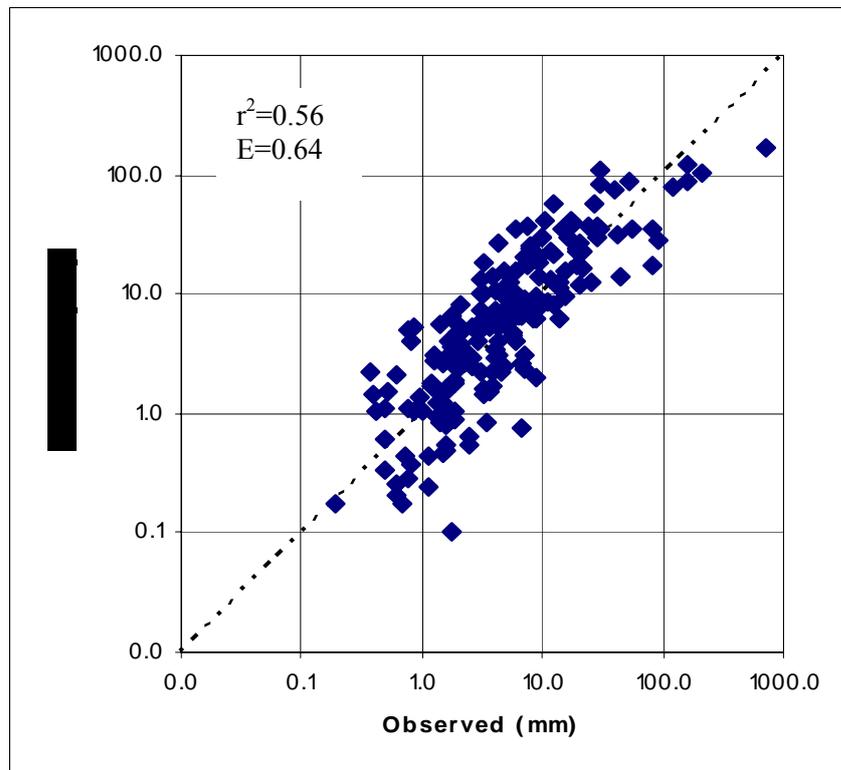
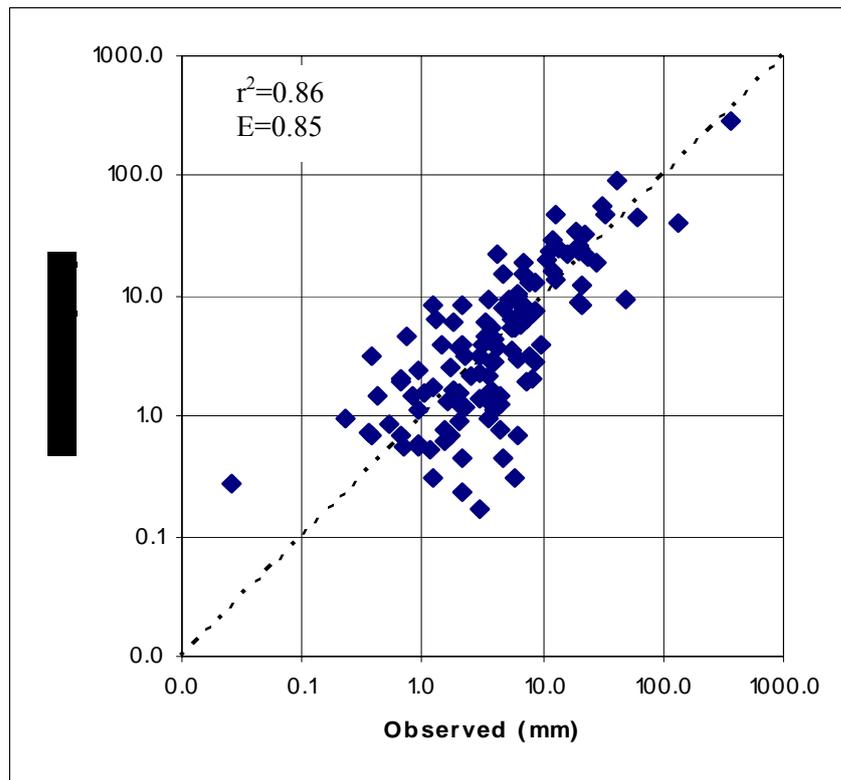


Figura 5.2 Volumi di deflusso mensili osservati e simulati per il periodo di (sopra) calibrazione e (sotto) validazione nel bacino del Ragoletto.

5.2. Analisi delle simulazioni del trasporto solido

Data la disponibilità soltanto di 5 valori cumulati di interrimento nel bacino Ragoletto, si è scelto di calibrare il modello utilizzando la media annua dell'interrimento osservato nell'intero periodo di osservazione 1964-2008. Utilizzando i parametri di default del modello, la media dell'interrimento simulato nell'intero periodo è risultata pari a $67 \cdot 10^3$ t, ovvero inferiore di circa il 7 % del valore osservato (pari a $72 \cdot 10^3$ t) (Tabella 5.3) con valori soddisfacenti del coefficiente di efficienza ($E=0,68$) (Tabella 5.4). Provando ad incrementare il fattore colturale della Universal Soil Loss Equation (USLE_C nel file crop.dat) per gli usi del suolo presenti nel bacino di un fattore 1.1 i risultati non sono migliorati. Si è quindi deciso di non calibrare la componente erosiva del modello. I volumi di interrimento medi annui sono risultati sottostimati dal 1980 al 2005 (fino a 64% su un periodo di 16 anni) e sovrastimati nel restante periodo (fino a 113% su un periodo di circa 2 anni). Il diverso comportamento del modello per il periodo 1980-1990 e i seguenti potrebbe essere attribuito almeno in parte ai cambiamenti di uso del suolo che si sono verificati nel bacino così riassumibili;

- Progressiva influenza degli interventi di forestazione, effettuati a cominciare dagli anni '60;
- Ritiro dei seminativi e trasformazione dei terreni prima coltivati in prati e pascoli permanenti;
- Occupazione di una parte dei terreni con colture viticole.

Tali cambiamenti hanno probabilmente causato una progressiva riduzione della produzione di sedimenti nel bacino di alimentazione durante il periodo simulato; l'utilizzo, durante la simulazione, della carta di uso del suolo relativa al 2005, anche per il periodo precedente in cui i cambiamenti descritti erano ancora in corso di attuazione, può essere quindi uno dei fattori che può spiegare la sottostima sistematica della produzione di sedimenti da parte di SWAT nei periodi precedenti al 2005.

Tabella 5.3 Valori di interrimento annui osservati e simulati prima e dopo la calibrazione nel bacino Ragoletto

<i>Periodo</i>	<i>Numero anni</i>	<i>Interrimento osservato (IO) t/anno</i>	<i>Interrimento simulato (IS) t/anno</i>	<i>(IS-IO)/IO*100 %</i>
1964-1980	17	71675	62986	-12
1981-1996	16	58750	21162	-64
1997-2005	9	75200	49738	-34
2006-2007	2	152750	193465	27
2008-2009	1,5	3525*	7493*	113
1964-2009	45,5	72380	66969	7

* Interrimento osservato fino a giugno 2009 e simulato fino a dicembre 2008

Tabella 5.4. Valori dei parametri statistici relativi al processo di calibrazione dell'interrimento medio annuo nel bacino Ragoletto.

	Media (t/anno)	Deviazione standard (t/anno)	R ²	E	E ₁	RMSE (t/anno)	RMSE _s (t/anno)	RMSE _u (t/anno)	CRM
<i>B. Scala media annua (1964-2009)</i>									
Osservati	72380	53372	-	-	-	-	-	-	-
Simulati	66968	74077	0,88	0,68	0,33	27604,73	86705,13	94205,96	0,07

Dove:

R² = coefficiente di determinazione

E = coefficiente di efficienza (Nash et Sutcliffe, 1970)

E₁ = coefficiente di efficienza modificato (Willmott, 1981)

RMSE = radice dell'errore quadratico medio

RMSE_s = radice dell'errore quadratico medio sistematico (Willmott, 1981)

RMSE_u = radice dell'errore quadratico medio non sistematico (Willmott, 1981)

CRM = Coefficiente di massa residua (Loague et Green, 1991; Chanasyk et al., 2003)

CAPITOLO 6

Considerazioni conclusive

Per il raggiungimento degli obiettivi prefissati, sono state condotte tre attività principali, la prima relativa alla raccolta e elaborazione dei dati necessari alla caratterizzazione del bacino di alimentazione del serbatoio Ragoletto, la seconda orientata alla analisi dei deflussi e volumi di sedimento osservati nel serbatoio Ragoletto e la terza finalizzata alla verifica del modello SWAT per la stima dei deflussi e dell'interrimento del serbatoio.

L'invaso artificiale del serbatoio Ragoletto si trova a Sud dell'abitato di Licodia Eubea (CT), lungo l'asta principale del fiume Dirillo, 500 m a monte del ponte Ragoletti. Il corpo diga è del tipo a gravità massiccia, in calcestruzzo, con un'altezza massima di 61 m (ai sensi della Legge 584/1994) e uno sviluppo del coronamento di 332 m. Nel corpo diga sono inseriti due scarichi di fondo, muniti di griglia, con imbocco a sezione quadrata (3 m x 3 m), posti a 285,0 m s.m.m. (quota asse). Le quote di coronamento, di massimo vaso e di ritenuta normale sono rispettivamente pari a 331,0, 329,6 e 328,0 m s.m.m.. La capacità totale d'invaso è di 23,5 Mm³ di cui 2,2 Mm³ destinati alla laminazione delle piene e 1,3 Mm³ destinati all'interrimento. La capacità utile del serbatoio è pertanto pari a 20 Mm³. Le acque del serbatoio, gestito dall' Agip Petroli S.p.A., vengono utilizzate a scopo industriale (stabilimento petrolchimico di Gela) ed irriguo (Consorzio di Bonifica n. 8 di Ragusa). Il serbatoio è entrato in esercizio nel 1963 e sottende un bacino imbrifero di 117,5 km². L'invaso svolge inoltre, la funzione di laminare le piene a salvaguardia del territorio sotteso dal bacino. Il bacino sotteso dalla diga Ragoletto presenta una morfologia collinare ed una notevole variabilità dal punto di vista geologico. L'acclività è inferiore al 30% per la maggior parte del bacino. Il quadro pedologico ove si colloca l'area in studio, comprende otto tipologie di suolo, e precisamente: Litosuoli, Regosuoli, Regosuoli sabbiosi, Suoli Rendzina, Suoli bruni Vertici, Suoli Bruni Andici, Suoli Bruni, Suoli alluvionali. I principali usi del suolo sono: terreni seminativi, pascolo, aree degradate e/o incolte, colture arboree (uliveto, agrumeto, mandorleto, ecc.), aree boscate, vigneti e aree urbanizzate.

Il tempo di corrivazione, ottenuto con le relazioni proposte da Giandotti, Puglisi e Pezzoli, risulta, come media, pari a 5.14 h.

I deflussi risultano ben correlati con gli afflussi ($R^2=0.66$) mediante una equazione polinomiale del 2° ordine. Il coefficiente di deflusso medio mensile è risultato pari a 0.17 nell'intero periodo (1980-2008), raggiungendo il valore massimo nel quinquennio 1990-1994 (0.21) e il minimo nell'ultimo periodo di osservazione 2005-2008 (0.13)

I volumi defluiti mensilmente dal serbatoio Ragoletto, dal 1963 al 2008, sono stati valutati mediante l'applicazione dell'equazione di bilancio, in funzione della differenza tra i volumi invasati alla fine del periodo considerato e dalla fine del periodo precedente, nonché dei volumi derivati tenendo anche conto delle perdite per evaporazione e delle perdite per altre cause (sfiori, scarichi, infiltrazioni nel corpo diga, ecc.). I dati di interrimento osservati nel bacino Ragoletto sono stati ricavati dai rilievi batimetrici eseguiti dal 1963 al 2009 con diverse tecnologie. In particolare oltre al rilievo aerofotogrammetrico effettuato attorno al 1960 prima della realizzazione della diga, sono disponibili altri sei rilievi batimetrici: nel 1980 a serbatoio pressoché vuoto, nel 1996 con il livello idrico a quota 321,5 m s.m.m., corrispondente ad un volume invasato di circa 14 Mm³ (Barbagallo et al., 1997). Ulteriori rilievi sono stati eseguiti nel 2005 con il livello idrico a quota 325,8, nel giugno del 2007, nel dicembre 2007 e l'ultimo a giugno 2009 con livello idrico a quota 325,13 m s.m.m., con la metodologia basata sul sistema di posizionamento satellitare GPS e con ecoscandaglio *singlebeam*.

Il modello SWAT è stato applicato al bacino di alimentazione del serbatoio Ragoletto per stimare i deflussi a scala mensile ed annua (dal 1980 al 2008), nonché i volumi di sedimento cumulati nel tempo (dal 1963 al 2008). La performance del modello è stata valutata tramite parametri statistici di sintesi e di differenza (relativi a scarti ed errori) applicati al periodo di calibrazione e validazione scelti. Il modello è riuscito a stimare i volumi di deflusso annuo sia nel periodo di calibrazione che validazione a scala annua e mensile in maniera soddisfacente senza modificare i valori di CN suggeriti dal modello. Si evidenzia comunque una sottostima dei deflussi mensili più significativi (> 50 mm), che è, almeno in parte, legata alla natura deterministica che caratterizza anche i modelli fisicamente basati (Nearing et al., 1998). La media dell'interrimento simulato nell'intero periodo è risultata pari a $67 \cdot 10^3$ t, ovvero inferiore di circa il 7 % del valore osservato (pari a $72 \cdot 10^3$ t) con valori soddisfacenti del coefficiente di efficienza, utilizzando il valore di default per il fattore culturale della Universal Soil Loss Equation. I volumi di

interrimento medi annui sono risultati sottostimati dal 1980 al 2005 (fino a 64% su un periodo di 16 anni) e sovrastimati nel restante periodo (fino a 113% su un periodo di circa 2 anni). Il diverso comportamento del modello per il periodo 1980-1990 e i seguenti potrebbe essere attribuito, almeno in parte, ai cambiamenti di uso del suolo che si sono verificati nel bacino.

I risultati complessivamente conseguiti consentono di affermare che il modello SWAT può essere utilizzato per la stima del deflusso e del volume di interrimento nel serbatoio Ragoletto. Per verificare l'esportabilità del modello sarebbe auspicabile una valutazione in altri serbatoi siciliani con caratteristiche simili.

BIBLIOGRAFIA

AGIP Petroli, S.p.A (2005). *Diga sul fiume Dirillo, serbatoio di Licodia Eubea, progetto di gestione dell'invaso diga Dirillo*. Ottobre 2005.

Amore E., Modica C., Nearing M. A., Santoro V. C. (2004). *Scale effect in USLE and WEPP application for soil erosion computation from three sicilian basins*. Journal of Hydrology, 293, pp. 100-114.

Arnold J.G., Fohrer N. (2005). *SWAT2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modelling*. Hydrological Processes 19: 563-572.

Arnold J.G., Srinivasan R., Mutthiah R.S., Williams J.R. (1998). *Large area Hydrologic modeling and assessment part I: model development*. Journal of the American Water Resources Association 34(1): 73-89.

Badas M.G., Sulis M., Deidda R., Piga E., Marrrocu M., Paniconi C. (2004). *Applicazione del modello SWAT al bacino dell'araxisi*. Atti XXIX Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. Trento 7-10 Settembre 2004.

Bagnold, R.A., (1977). *Bedload Transport in Natural Rivers*. Water Resources Research 13(2): pp. 303-312.

Barbagallo S., Cirelli G.L., Consoli S. (2004). *La gestione dei sedimenti in alcuni grandi serbatoi siciliani in Il processo di interrimento degli invasi: Genesi, effetti ed interventi per la tutela dell'ambiente*". A cura di Bruno Molino e Michele Vita. Edizioni: Collana editoriale di studi e ricerche n. 4, giugno.

Barbagallo S., Cirelli G.L., Giallombardo D., Mazzola G., Nicita A., (1997). *"Il rilievo batimetrico dei serbatoi con GPS ed ecoscandaglio"*, In: Atti del VI Convegno Nazionale di Ingegneria Agraria, Ancona, 11-12 settembre, pp. 79-88.

Barbagallo S., Mazzola G., Toscano A. (2010). *I serbatoi artificiali: monitoraggio e controllo dei sedimenti*. Quaderni, Autorità di Bacino della Basilicata

Barbagallo S., Tamburino V. (1989). *Valutazione dei deflussi in alcuni bacini siciliani mediante il bilancio idrico dei serbatoi*. Idrotecnica n.1 pagg. 5-12

Boardman, J., Ligneau, L., De Roo, A., Vandaele, K., (1994). *Flooding of property by runoff from agricultural land in northwestern Europe*. Geomorphology 10, 183– 196.

Bouraoui F., Benabdallah S., Jrad A., Bidoglio G., (2005). *Application of the SWAT model on the Medjerda River basin (Tunisia)*. Phys. Chem. Earth 30(8-10): 497-507.

- Ca'Zorzi F. (1983), *Indagine sul metodo dell'idrogramma unitario del SCS. Quaderni di Idronomia Montana*, 1: 45-66.
- Cau P., Cadeddu A., Lecca G., Marrocu M. (2005). *Calcolo del bilancio idrico della Regione Sardegna con il modello idrologico SWAT*. L'Acqua 5: 29-38.
- Chanasyk D.S., Mapfumo E., Willms W. (2003). *Quantification and simulation of surface runoff from fescue grassland watersheds*. Agricultural Waste Management 59: 137-153.
- Chaplot V., (2005). *Impact of DEM mesh size and soli map scale on SWAT runoff, sediment, and NO³-N loads predictions*. Journal of Hydrology 312:207-222.
- Chow, V.T., D.R., Maidment, and L.W. Mays, (1998). *Applied Hydrology*. Mcraw-Hill, New York.
- Clark, E.H., (1985). *The off-site costs of soil erosion*. Journal of Soil and Water Conservation 40, 19– 22.
- COMAP, (1995). *“Intervento di ripristino degli scarichi di fondo del corpo diga di Ragoletto”*, Consorzio Opere Marittime Attività Portuali, www.comap.net,
- COST Action 623 (European COorporation in the field of Scientific and Technical research), (1999). Soil Erosion and Global Change. www.cost623.leeds.ac.uk.
- Coulthard, T.J., Kirkby, M.J., Macklin, M.G., (2000). *Modeling geomorphic response to environmental change in an upland catchment*. Hydrological Processes 14, 2031–2045.
- Crosson, P., (1997). *Will erosion threaten agricultural productivity?*, Environment 39, 4 – 5.
- De Vente J., J. Poesen, P. Bazzoffi, A. Van Rompaey and G. Verstraeten. (2006) *Predicting catchment sediment yield in Mediterranean environments: the importance of sediment sources and connectivity in Italian drainage basins*. Earth Surface Processes and Landforms, 31 1017-1034.
- Delft Hydraulics, (1992). *The control of reservoir sedimentation*. A literature review.
- Di Luzio M., Arnold J.G., Srivansan R. (2005). *Effect of GIS data quality on small watershed stream flow and sediment simulations*. Hydrological Processes 19: 629-650.
- Di Silvio G. (1996). *Interrimento e riabilitazione degli invasi artificiali*. L'Aquila. N.6 pagg 49-54
- Fierotti G. et al., (1988). *Carta dei suoli della Sicilia*. Università degli Studi, Palermo
- Gassman P., Reyes M., Green C.H. Arnold J.G., (2007). *The soil and Water Assessment Tool: Historical development, applications, and future research directions*. Transactions of the ASABE 50(4): 1211-1250.

Gessese A., Yonas M., (2008). *Prediction of Sediment Inflow to legedadi Reservoir Using SWAT Watershed and CCHE1d Sediment Transport Models*, Nile Basin Water Engineering Scientific Magazine, Vol. 1./magazine.nbcbn.com/Volumes/Volume1/p6.pdf.

Giandotti M., (1934). *Previsioni delle piene e delle magre dei corsi d'acqua*. Memorie e studi idrografici, Pubbl. n. 2. Servizio Idrografico Italiano, vol. VIII pag. 107.

Govender M., Everson C.S. (2005). *Modelling streamflow from two small South African experimental catchments using the SWAT model*. Hydrological Processes 19(3): 683-692.

Green C.H., Tomer M.D., Di Luzio M., Arnold J.G. (2006). *Hydrological evaluation of the soil and water assessment tool for a large tile-drained watershed in Iowa*. Trans. ASABE 49(2):413-422.

Green W.H. Ampt G.A. (1911). *Studies on soil Physics. 1. The Flow of air and Water Through Soil*. Journal of Agricultural Sciences 4: pp. 11-24.

Green, C.H., M.D. Tomer, M. Di Luzio, and J.G. Arnold. (2006). *Hydrologic evaluation of the soil and water assessment tool for a large tile-drained watershed in Iowa*. Trans. ASABE 49(2):413-422,

Hargreaves G.H., Samani Z.A., (1985) *Reference crop evapotranspiration from temperature*. Appl. Eng. Agric. 1, pp 330-340.

Hawkins, R. H., Hjelmfelt, A.T., Jr. and Zevenbergen, A.W., (1985). *Runoff probabilité, storm depth and curve numbers*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE 111(4): pp. 330-340.

Hotchkiss R. H., Jorgensen S. F., Stone M. C., Fontaine T. A., (2000). *Regulated river modeling for climate change impact assessment: The Missouri River*. J. American Water Res. Assoc. 36(2): 375-386.

IGBP-BAHC (International Geosphere–Biosphere Programme), (1997). *Modeling the transport and transformation of terrestrial materials to freshwater and coastal ecosystems*. IGBP Report, vol. 39. IGBP, Stockholm, Sweden.

Indelicato S. (1968). *Indagine sull'evaporazione da superfici liquide*. Istituto di Idraulica Agraria, Universit  di Catania.

Indelicato S., Tamburino V., Barbagallo S., Mazzola G., (1989). *Risorse idriche nei grandi serbatoi artificiali Siciliani*. Quaderni 2, Centro Studi di Economia applicata all'Ingegneria. Catania.

Krause, P., D.P. Boyle, F. Base. (2005). *Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessmen.*, Advances in Geosciences 5: 89-97

La Loggia G., Minacapilli M. (1998). *Tecniche GIS per la stima dell'interrimento in tre serbatoi Siciliani*. L'Acqua n.3 pagg. 29-36

Legates R.D., McCabe G.J. (1999). *Evaluating the use of "goodness of fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation*. Water Resources Research 35:233-241.

Licciardello F., Rossi C., Raghavan S., Zimbone S.M. Barbagallo S. (2010). *Validating SWAT on a small semi-arid Mediterranean watershed comparing et methods*. Submitted to transactions of a SABE

Licciardello, F., R. Srinivasan, S.M. Zimbone. (2005). *Evaluation of the SWAT Model in a Small Experimental Mediterranean Basin*, Proceedings of the "3rd International SWAT Conference". Zurich, Switzerland, 13-15 July.

Licciardelo F., R Srinivasan, S.M. Zimbone (2005): *Evaluation of the SWAT model in a small experimental mediterranean basin*. Proceedings of 3rd International SWAT conference, Zurich, Switzerland, 13-15 July.

Lo porto A., De Girolamo A.M., De Luca F., Pappagallo G. (2005). *Applications of water management models to Mediterranean temporary rivers*. In Proc. 3rd International SWAT Conference. Zurich Switzerland, July 11-15.

Loague K., Green R.E. (1991). *Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models:overview and application*. Journal of Cintaminant Hydrology 7: 51-73.

Lorrai E., Cau P. (2005). *A user friendly multy-catchements tool for the SWAT model*. In Proc. 3rd International SWAT Conference. Zurich Switzerland, July 11-15.

Lu X. X.,Higgitt D.L., (2001). *Sediment delivery to the Three Gorges 2: Local response*. Geomorphology (41) pp. 157-169.

Mahmod K. (1989). *Reservoir sedimentation: impact,t extent, migration*. World Bank Techical Report n. 71. Washington D.C.

Monteith J.L., (1965). *Evaporation and environment*. In: *The State and Movement of Water in Living Organism*. XIX th Symposium, Soc. For Exp. Biol., Swansea, Cambridge University Press, pp. 205-234

Morris G.L e Fan J. Reservoir (1998). *sedimentation handbook*. McGraw-Hill.

Nash, J.E., Sutcliffe, J.V., (1970). *River flow forecasting through conceptual models: Part I. A discussion of principles*. Journal of Hydrology 10, 282– 290.

Nearing M.A., (1998). *Why Soil Erosion Models Over-predict Small Soil Losses and Under-predict Large Soil Losses*. Catena, 32, 15-22.

Neitsch S.L., Arnold J., Kiniry J.R., William J.R., (2000). *Soil and Water Assessment Tool User's Manual*. Version 2000, Blackland Research Center, Temple TX.

- Overton, D.E., (1966). *Muskingum Flood Routing of Upland Streamflow*. J. Hydrology 4 : pp. 185-200
- Pappagallo G., Leone A., Lo Porto A., (2003). *Use of management models to study human impact on quality and quantity of water resources in the watershed of Celone River (Apulia, Italy)*. Proceedings of the 3rd International SWAT Conference. Bar, Italy July 1-4.
- Penta P., (1980). *Risultati di una indagine sull'interrimento dei serbatoi artificiali*. Idrotecnica, n. 1
- Pezzoli G. (1970). *Schemi e modelli matematici in idrologia*. Libr. Ed. Univ. Levratto e Sella, Torino.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., Blair, R., (1995). *Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits*. Science 267, 1117–1123
- Priestley B.C.H., Taylor R.J., (1972). *On the assessment of surface heatflux and evaporation using large-scale parameters*. Mon. Weather Rev. 100: 81-92.
- Puglisi S., Zanframundo P., (1978). *Osservazioni idrologiche in piccoli bacini del subappennino dauno*, Giornale del Genio Civile n. 10-11-12, 1978 pagg. 439-453.
- Regione Siciliana, assessorato territorio e ambiente (2004). *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)*.
- Roveri E. (1982) *Sur la conservation de la capacité utile des lacs artificiels*. 14th International Congress on Large Dams, Rio de Janeiro.
- Sibbesen, E., (1995). *Phosphorus, nitrogen and carbon in particlesize fractions of soils and sediments*. In: Correl, A. (Ed.), *Surface runoff, erosion and loss of phosphorus at two agricultural soils in Denmark, plot studies 1989–1992*, SP-report No. 11, pp. 135–148.
- SOGESID S.p.A. (2000). *Documento base per l'Accordo di Programma Quadro sulle Risorse Idriche in Sicilia*. Regione Siciliana.
- Srinivasan R., Muttiah R., Dyke R.S., Walker R., Arnold J., (2000). *Hydrologic Unit Model for the United States (HUMUS)*. Texas Agricultural Experiment Station, Blackland Research Center, Temple TX.
- Steege, A., Govers, G., Takken, I., Nachtergaele, J., Poesen, J., Merckx, R., (2001). *Factors controlling sediment and phosphorus export from two Belgian agricultural catchments*. Journal of Environmental Quality 30, 1249–1258.
- Strand R.I. Pemberton E. I., (1987). *Reservoir sedimentation*. Design of Small Dams. United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation: 529-564.

- Tamburino V., Barbagallo S., Vella P. (1989). *Indagine sull'interrimento dei serbatoi artificiali Siciliani*. Rivista di Ingegneria Agraria n. 3 pagg. 156-164
- Tamburino V., Barbagallo S., Vella P., (1990). *Evaluation of sediment deposition in Sicilian artificial reservoirs*. Hydrology in Mountainous Regions II: Artificial Reservoirs, Water and Slopes. Sinniger RO, Monbaron M (eds), IAHS Publication 194. Lausanne: 113-120.
- Tamburino V., Barbagallo S., Zimbone S.M., Cirelli G.L. (1993). *La gestione dei sedimenti del serbatoio Pozzillo*. Rivista di Ingegneria Agraria, n. 2 Giugno.
- Tripathi M.P., Panda R.K., Raghuwanshi N.S., Singh R. (2004). *Hydrological modeling of a small watershed using general rainfall in the soil and water assessment tool model*. Hydrological Processes 18: 1811-1821.
- Turner, B.L., Clark, W.C., Kates, R.W., Richards, J.F., Matthews, J.T., Meyer, W.B., (1990). *The Earth as Transformed by Human Action*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- USDA Soil Conservation Service (1972). *National Engineering Handbook, Hydrology*, Section 4: 548. Washington D.C.: USDA Soil Conservation Service.
- USDA Soil Conservation Service, (1975, updated 1986). *Urban Hydrology for small watersheds*. Washington D.C.: USDA Soil Conservation Service.
- Van Liew M.W., Garbrecht J. (2003). *Hydrologic simulation of the little Washita river experimental watershed using SWAT*. Journal of the American Water Resources Association 39(2): 413-426.
- Van Rompaey A., Bazzoffi P., Jones R.J.A., Montarella L. (2005). *Modeling sediment yields in Italian catchments*. Geomorphology 65(2005) 157-169.
- Verstraeten, G., Poesen, J., (1999). *The nature of small-scale flooding, muddy floods and retention pond sedimentation in central Belgium*. Geomorphology 29, 275– 292.
- White K. L., Chaubey I., (2005). *Sensitivity analysis, calibration, and validations for a multisite and multivariable SWAT model*. J. American Water Resour. Assoc. 41(5): 1077-1089.
- William J.R., Brendt H.D. (1977). *Sediment yield prediction based on watershed hydrology*. Transactions of ASAE 20(6), pp. 1100-1104.
- William, J.R., (1969). *Flood Routing With Variable Travel Time or Variable Storage coefficients*. Trans. ASAE 12(1):100-103
- Williams, J.R., (1980). *SPNM, a Model for Predicting Sediment, Phosphorous, and Nitrogen From Agricultural Basin*. Water Resources Bulletin 16(5): pp. 843-848.

Willmott, C.J. (1982). *Some comments on the evaluation of model performance*,
Bulletin American Meteorological Society: 1309-1313.

APPENDICE A
Carta Geologica

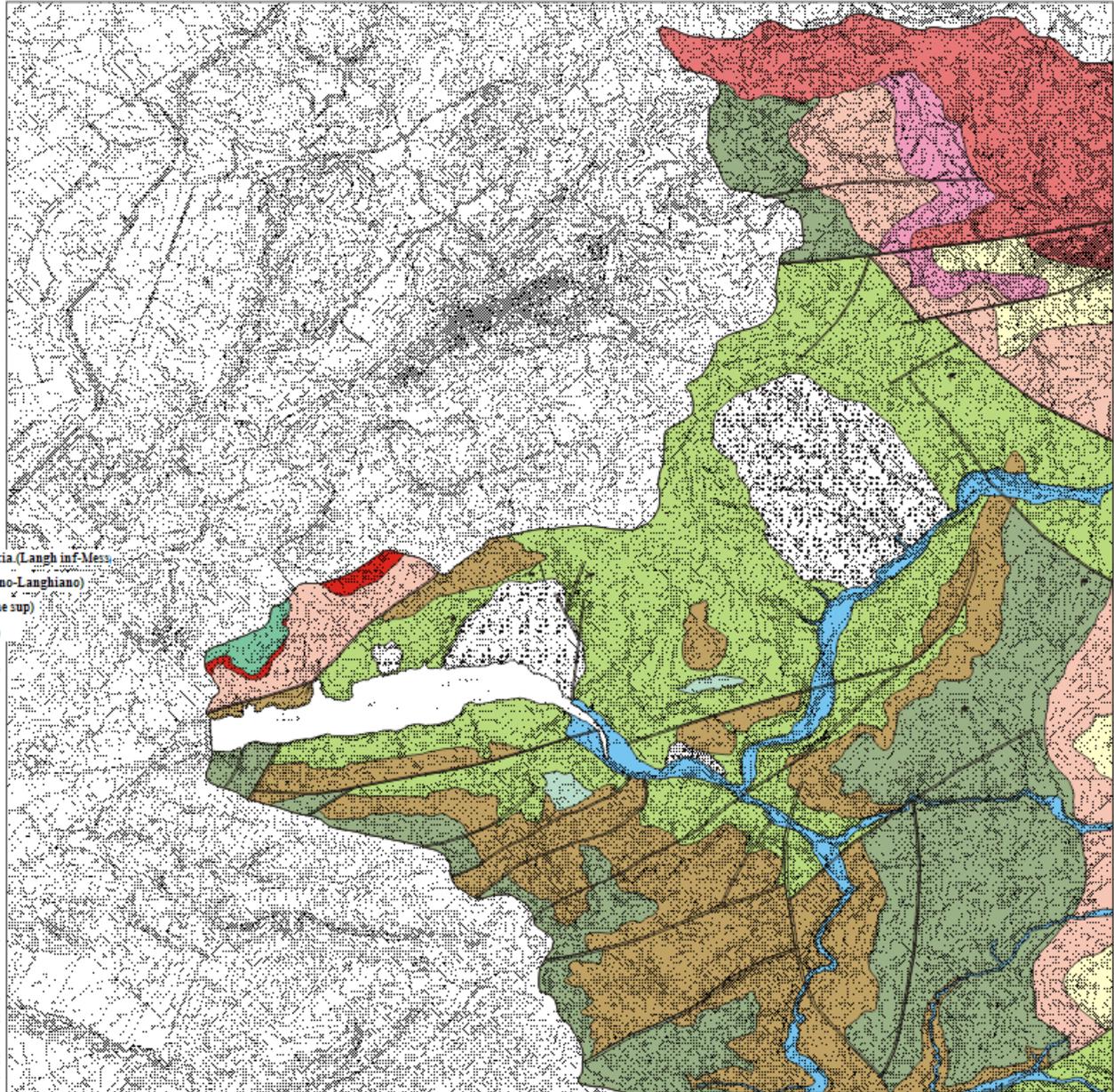
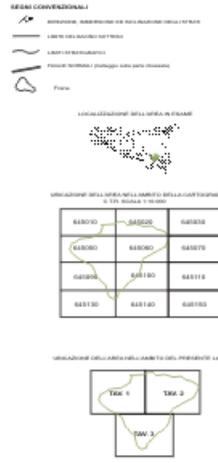
Raffineria di Gela S.p.A.

DIGA SUL FIUME DIRILLO
SERBATOIO DI LICODIA EUBEA
Territorio di Licodia Eubea (area ex-aequo)

PROGETTO DI GESTIONE DELL'INANNO DIGA DIRILLO
Sede: LICODIA EUBEA - Strada 2
Via: S. GIUSEPPE DEL MARE - 95030 LICODIA EUBEA (SR) - Tel. 0932/300001
- Ottobre 2005 -
Versione in modificazione: 00000

Numero: 1 - Titolo: progetto Scala: 1:10000 Data: 08/10/05 Foglio: Carta Geologica - Tav. 1	CONSULENZA IDRAULICA: SVIZZ. ING. AURELIO A. JUREK SVIZZ. ING. FRANCESCO JUREK CONSULENZA GEOLOGICA: SVIZZ. ING. AURELIO A. JUREK
RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE: DIGA DIRILLO (www.ingegneriamarelli.com)	REDATTORE DELLO STUDIO: SVIZZ. ING. FRANCESCO JUREK

- LEGENDA**
- Alluvioni attuali e recenti. (Olocene)
 - Terrazzi fluviali. (Olocene)
 - Vulcaniti basiche. (Pliocene med-sup)
 - Breccie calcaree, marne, limi. (Pliocene med)
 - Trubi. (Pliocene inf)
 - Calcare di base e gessi. (Messiniano)
 - Formaz Palazzolo. (Serravall-Tortoniano)
 - Formaz Tellaro. Vulcanoclastiti e pillow-breccia. (Langh inf-Mess)
 - Formaz Ragusa. Membro Irminio. (Aquitano-Langhiano)
 - Formaz Ragusa. Membro Leonardo. (Oligocene sup)
 - Formaz Amerillo. (Campaniano-Eocene med)



Raffineria di Gela S.p.A.

DIGA SUL FIUME DIRILLO
SERBATOIO DI LICODIA EUBEA
Territorio di Licodia Eubea (Syracusa)

PROGETTO DI GESTIONE DELL'INNASO DIGA DIRILLO
C.A. 2005/05/01 - 01/01/2005
C.A. 2005/05/01 - 01/01/2005

PROGETTO DI INGEGNERIA CIVILE
DIP. DI INGEGNERIA CIVILE, 1° CICLO DI STUDI IN INGEGNERIA CIVILE

Autore: Studio geologico Scala: 1:10.000 Data: _____ Elab.: L.L. Revisione: 01		CONSULENZA CIVILTARIA: DOTT. ING. ALVARO A. DEGIO DOTT. ING. FRANCESCO VIOIA	
Oggetto: Carta Geologica - Tav. 1		CONSULENZA GEOLOGICA: DOTT. GEOLOGO GIOVANNI ANTONIOLI	
AMMINISTRATORE DELLA SOCIETA' EUBEA: DOTT. FRANCESCO DEGIO		REDATTORE DELLO STUDIO: DOTT. ING. FRANCESCO BIANCHI	

LEGENDA

- Alluvioni attuali e recenti. (Olocene)
- Terrazzi fluviali. (Olocene)
- Vulcaniti basiche. (Pliocene med-sup)
- Breccie calcaree, marne, limi. (Pliocene med)
- Trubi. (Pliocene inf)
- Calcarea di base e gessi. (Messiniano)
- Formaz Palazolo. (Serravall-Tortoniano)
- Formaz Tellaro. Vulcanoclastiti e pillow-breccia. (Langh inf-Mess)
- Formaz Ragusa. Membro Irminio. (Aquitaniense-Langhiano)
- Formaz Ragusa. Membro Leonardo. (Oligocene sup)
- Formaz Amerillo. (Campaniano-Eocene med)

SEGNALI CONVENZIONALI


 Limite dell'area di studio

 Strada

 Ferrovia

 Fiume

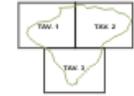
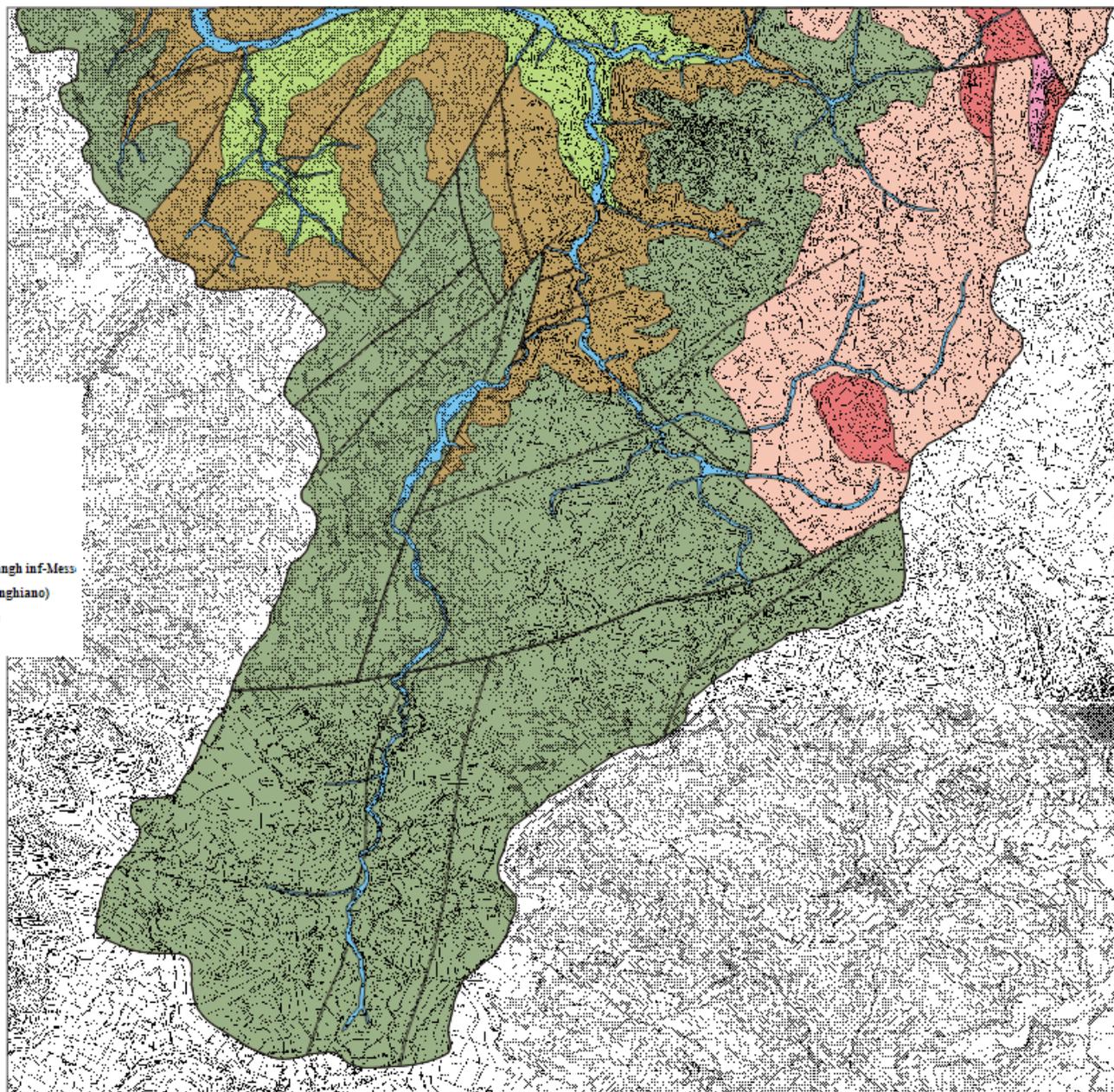
INDICAZIONE DELLA LUBRIFICAZIONE IN STAGIONE



INDICAZIONE DELLA QUANTITÀ DELLA LUBRIFICAZIONE IN STAGIONE

0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000

INDICAZIONE DELLA LUBRIFICAZIONE IN STAGIONE

APPENDICE B
Carta Litotecnica

Raffineria di Gela S.p.A.

DIGA SUL FIUME DIRILLO
SERRATOIO DI LICODIA EUBEA
Territorio di Licodia Eubea, Spina di Licodia

PROGETTO DI GESTIONE DELL'INNASO DIGA DIRILLO
Fiume DIRILLO, affluente del fiume SICILIA
CANTIERE 2005

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE
IN ACCORDO CON IL D.M. 15/03/2011 (CATEGORIA "OPERE DI INFRASTRUTTURE")

<p>Autore: Studio geologico</p> <p>Scala: 1:10.000 (A3)</p> <p>Edizione: 1/14/1</p> <p>Progetto: Carta 1:10.000 - Fog. 1</p>	<p>CONSULENZA GEOLOGICA:</p> <p>ING. DR. SALVATORE JUREK</p> <p>ING. DR. FRANCESCO VIGIA</p> <p>CONSULENZA GEOLOGICA:</p> <p>ING. GIULIO GIOVANNI ANTONIO</p>
<p>RESPONSABILE DELLA PROIEZIONE:</p> <p>DIGA DIRILLO</p> <p>(ING. DR. FRANCESCO VIGIA)</p>	<p>REDATTORE DELLO STUDIO:</p> <p>(ING. DR. FRANCESCO VIGIA)</p>

LEGENDA

- TERRENI COERENTI
- TERRENI INCOERENTI
- TERRENI SEMICOERENTI
- TERRENI LAPIDEI

SEGNI CONVENZIONALI

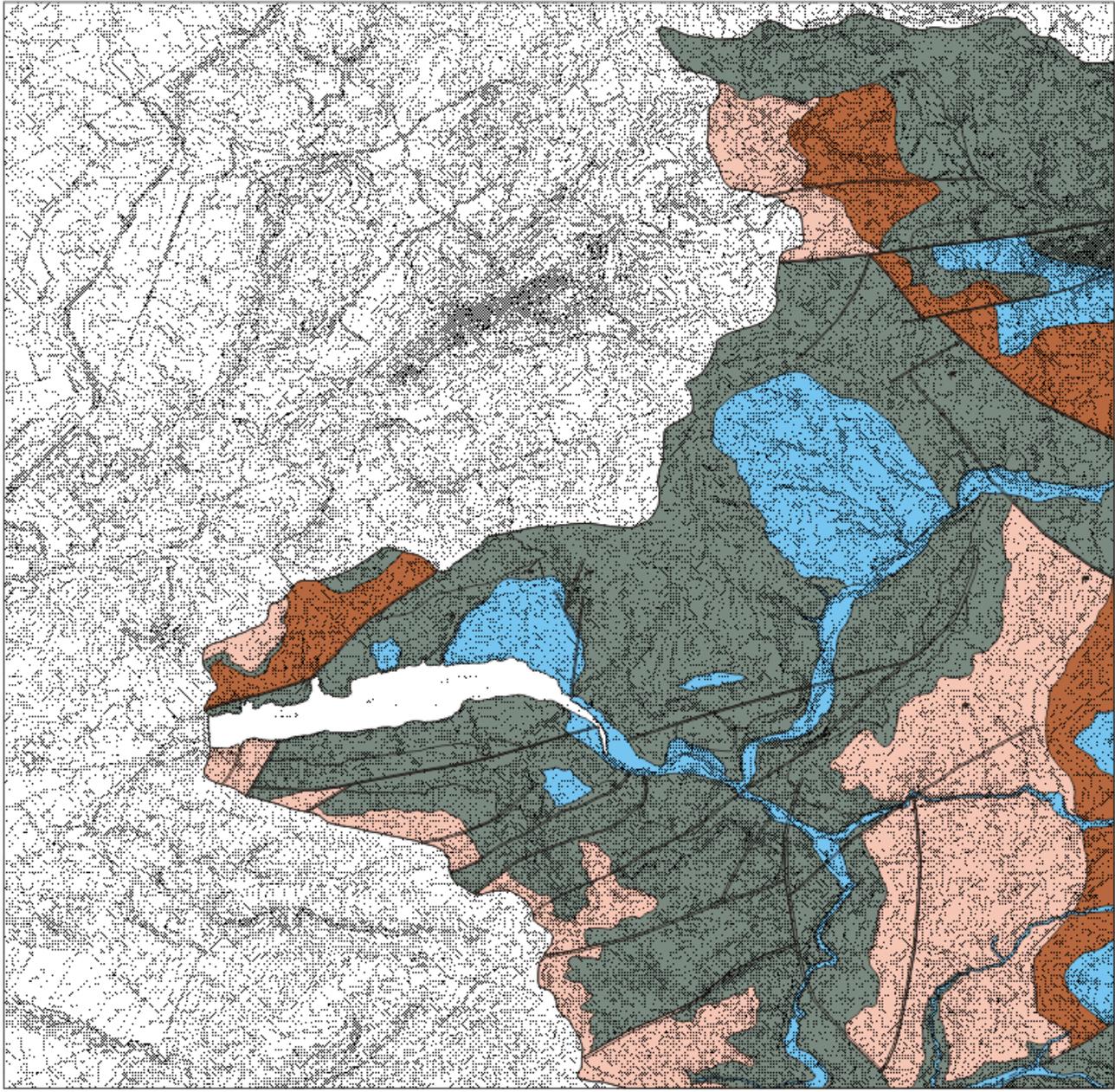
- Limiti dell'area di studio
- Limiti dell'opera
- Fianco di terreno e progetto della zona di studio

LOCALIZZAZIONE DELLA ZONA ALTERNATA

INDICAZIONE DELLA ZONA ALTERNATA DELLA ZONA D'INTERESSE

848700	848705	848710
848800	848805	848810
848900	848905	848910
849000	849005	849010

INDICAZIONE DELLA ZONA ALTERNATA DEL PRESENTE STUDIO



Raffineria di Gela S.p.A.

DIGA SUL FIUME DIRILLO
SERBATOIO DI LICODIA EUBEA
Territorio di Licodia Eubea (Syracusa) di Catania

PROGETTO DI GESTIONE DELL'IMMAGIO DIGA DIRILLO
C.A. LICODIA EUBEA S.P.A. - C.A. LICODIA EUBEA S.P.A.
C.A. LICODIA EUBEA S.P.A. - C.A. LICODIA EUBEA S.P.A. - C.A. LICODIA EUBEA S.P.A.
- GIUGNO 2005 -

STUDIO DI INGENGERIA EUBEA
C.A. LICODIA EUBEA S.P.A. - C.A. LICODIA EUBEA S.P.A. - C.A. LICODIA EUBEA S.P.A.

<p>Autore: F. Scudato (progettista)</p> <p>Scala: 1:10.000 Data:</p> <p>Edizione: 1.1.2 Revisione: 00</p> <p>Uggetto: Carta Catastrale - Tav. 1</p>	<p>CONSIGLIERA IDRAULICA: DOTT. ING. ANTONIO A. SERRI DOTT. ING. VINCENZO MARRAS DOTT. ING. FRANCESCO VERA</p> <p>CONSIGLIERA GEOLOGICA: DOTT. GIUSEPPE GIOVANNI MARRAS</p>
<p>RESPONSABILI DELLA REDAZIONE DELLE OPERE E DELL'ESECUZIONE: DIGA DIRILLO DOTT. ING. FRANCESCO SERRI</p>	<p>REGISTRO DELLO STUDIO: DOTT. ING. FRANCESCO SERRI</p>

LEGENDA

- TERRENI COERENTI
- TERRENI INCOERENTI
- TERRENI SEMICOERENTI
- TERRENI LAPIDEI

SEGN. CONVENZIONALI

- LINEE DEL BACINO SOTTILE
- LINEE DI CONFINAMENTO
- FIANCHI SOTTILI (SOTTILE/COERENTE/INCOERENTE)

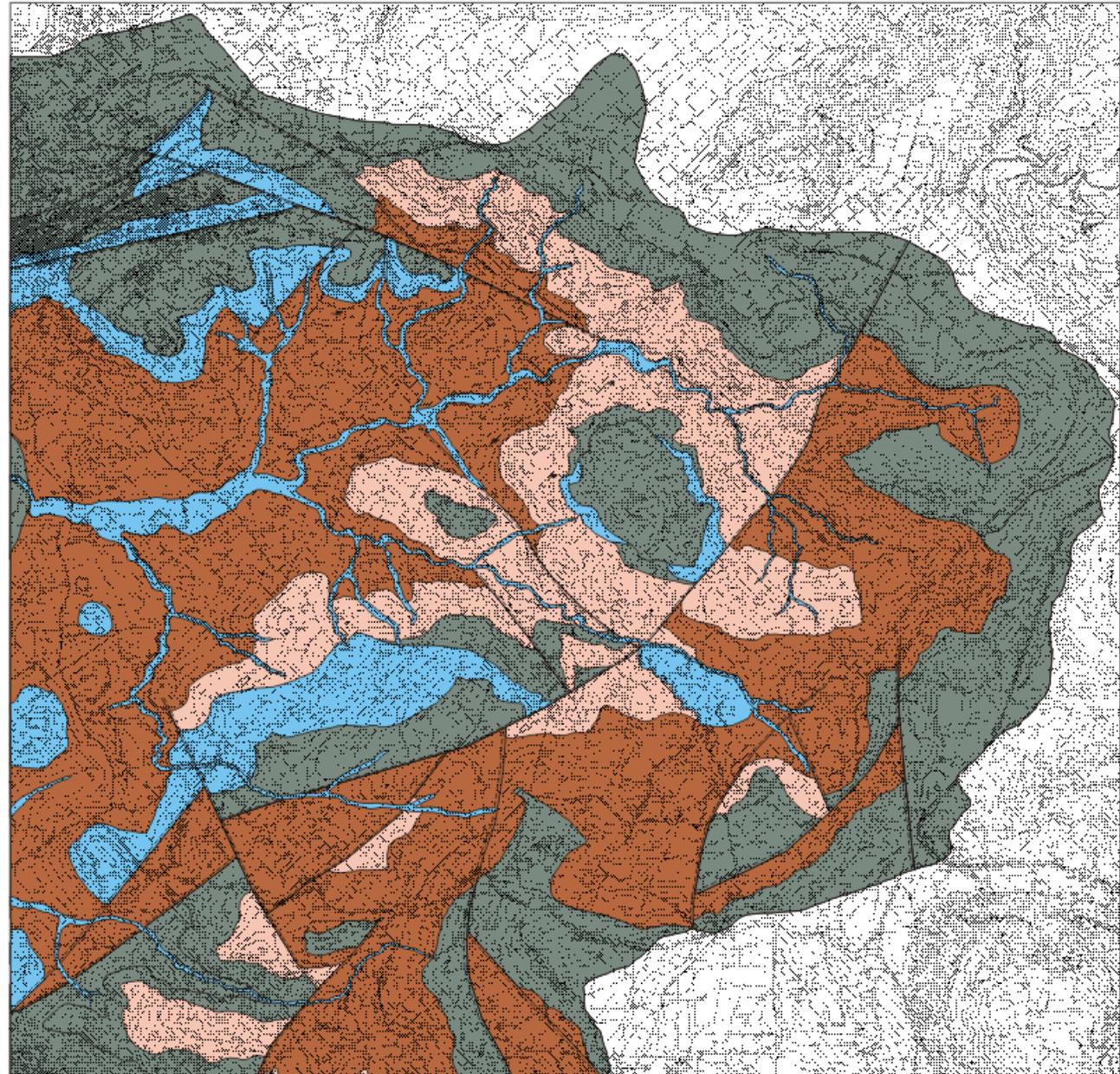
LOCALIZZAZIONE DELL'AREA DI STUDIO

OPERAZIONE DELL'OPERA NELL'AMBITO DEL QUADRO CATASTRALE
E DEL TOPOGRAFICO

84800	84805	84810
84810	84815	84820
84815	84820	84825
84820	84825	84830

LOCALIZZAZIONE DELL'AREA NELL'AMBITO DEL PROGETTO LAVORI

TAV. 1	TAV. 2
--------	--------



APPENDICE C
Carta delle Acclività

DIGA SUL FIUME DIRILLO
SERBATOIO DI LICODIA EUBEA

PROGETTO DI GESTIONE DELL'INVASO DIGA DIRILLO
CON CONSULTAZIONE DEL "COMITATO REGIONALE DI LICODIA EUBEA"
- OTTOBRE 2005 -

PIRELLA GÖTTSCHE LOWE

Documento 1 - Scheda progetto Scala: 1:10000 Data: Ediz.: 1.1.1 Revisione: 00 Oggetto: Carta delle PENDENZE, Tav. 1		CONSULENZA CARTOGRAFICA: DOTT. ING. AURELIO A. COZZI DOTT. ING. ANTONIO ABBATE DOTT. ING. FRANCESCO COLLA
RESPONSABILE DELLA PROIEZIONE: ENRICO DI NINO E' DI NINO E' DI NINO DIGA DIRILLO DOTT. ING. FRANCESCO COZZI		CONSULENZA GEOLOGICA: DOTT. GEOL. GIOVANNI ANTONINO
DIRETTORE DELLO STUDIO: DOTT. ING. FRANCESCO COZZI		

- LEGENDA**
-  PENDENZE 0-15%
 -  PENDENZE 15-30%
 -  PENDENZE 30-45%
 -  PENDENZE 45-60%
 -  PENDENZE OLTRE IL 60%
 -  LIMITE DEL BACINO SOTTESO

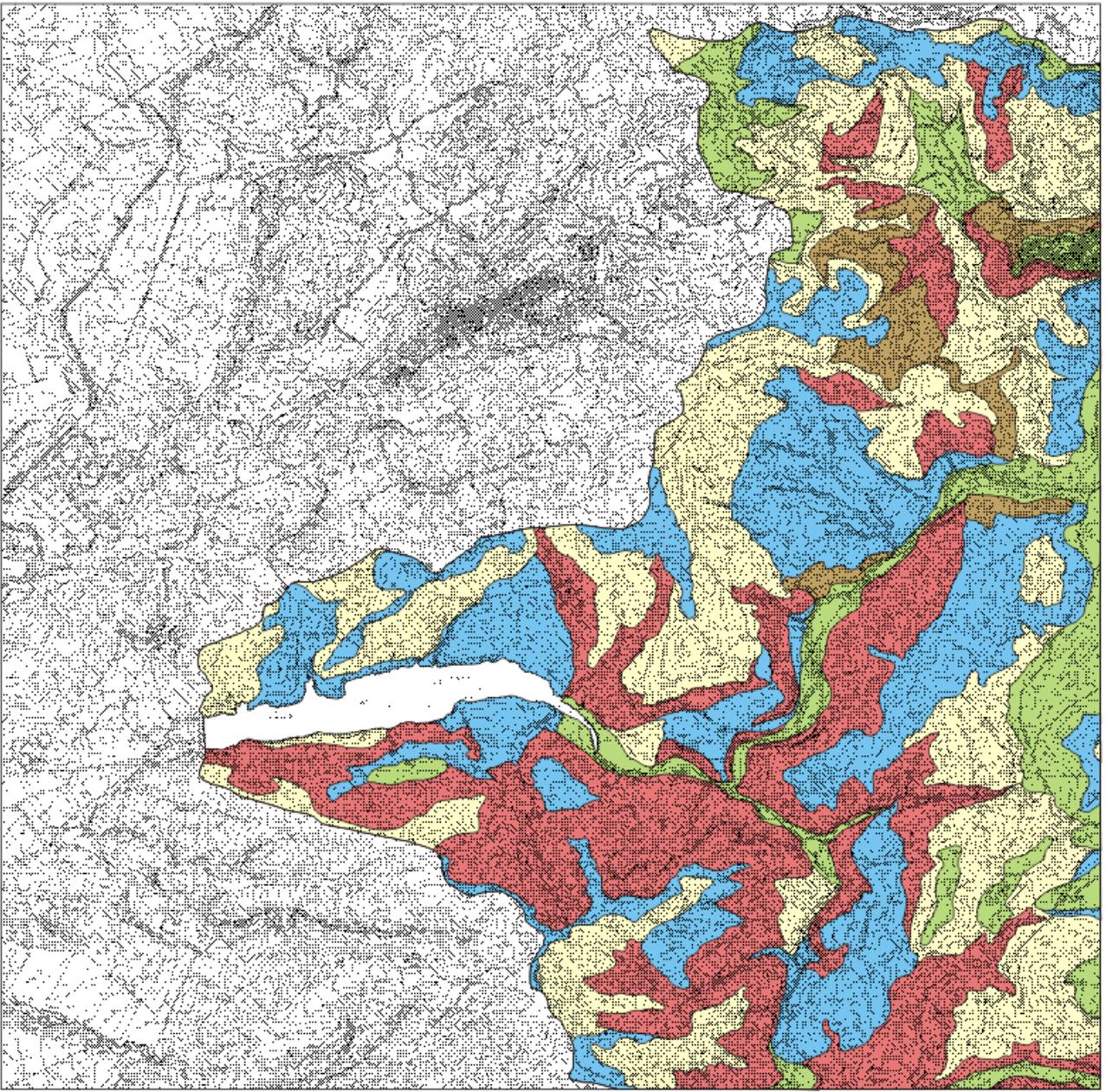
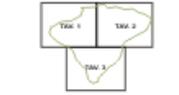
LOCALIZZAZIONE DELLA DIGA NEL TERRITORIO



SCHEMATIZZAZIONE DELLA DIGA NEL QUADRO DI TUTTO IL BACINO SOTTESO



SCHEMATIZZAZIONE DELLA DIGA NEL QUADRO DI TUTTO IL BACINO SOTTESO



Raffineria di Gela S.p.A.

DIGA SUL FIUME DIRILLO
SERBATOIO DI LICODIA EUBEA
Territorio di Licodia Eubea (Syracuse) di Catania

PROGETTO DI DEFINIZIONE DELL'OPERA DIGA DIRILLO
Fiume DIRILLO (Syracuse) - SICILIA
SUL SERBATOIO DEL 1958. TRATTO PER LA COSTRUZIONE DEL SERBATOIO DEL 2007

— GIUGNO 2005 —

STUDIO DI INGEGNERIA CIVILE
SULLE OPERAZIONI DI PROGETTO, PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE

PROGETTO E TRACCE PROGETTATE Autore: G. LACINA Data: _____ Disegnato: L.A.Z. Revisione: M.		CONSULENZA IDRAULICA: DIR. ING. ANTONIO FERRI DIR. ING. FRANCESCO SABBIO ING. FRANCESCO SABBIO
PROGETTO E TRACCE PROGETTATE Ing. Giuseppe Curia, Ing. Antonio F. Ferrì, Ing. L.		CONSULENZA GEOLOGICA: DIR. ING. GIULIO GIOVANNI ANTONINO
AMBITO DELLA MANOVRA DELLE OPERE DELL'INGEGNERIA DIGA DIRILLO DIR. ING. FRANCESCO SABBIO		REDATTORE DELLO STUDIO DIR. ING. FRANCESCO SABBIO

LEGENDA

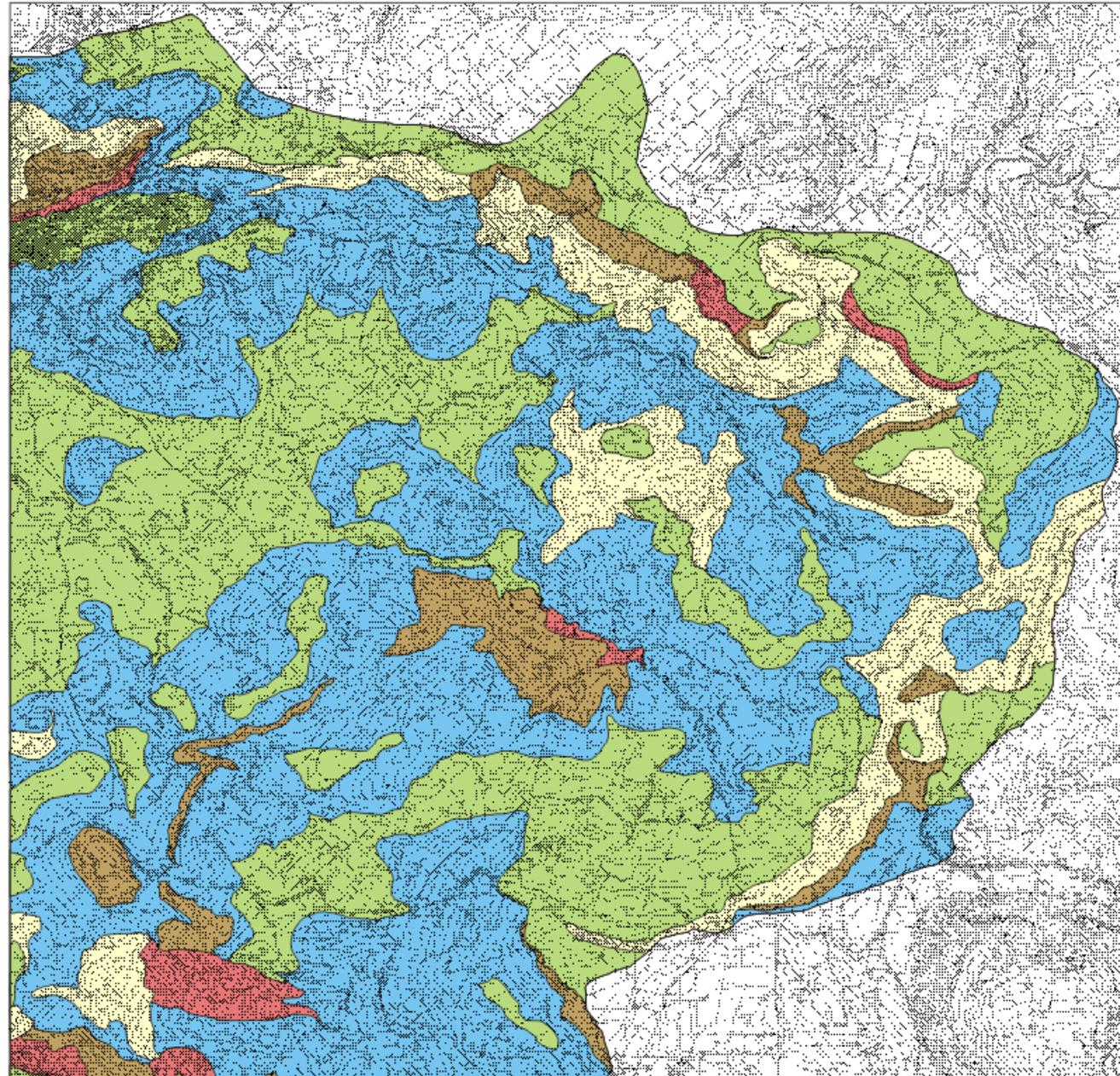
- PENDENZE 0-15%
- PENDENZE 15-30%
- PENDENZE 30-45%
- PENDENZE 45-60%
- PENDENZE OLTRE IL 60%
- LIMITE DEL BACINO SOTTESO

LOCALIZZAZIONE DELL'OPERA IN ITALIA

**DELIMITAZIONE DELLA AREA NELLA QUOTA DELLA CARTOGRAFIA
© I.P.T. SICILIA 1958**

BACINO	BACINO	BACINO
64000	64000	64000
64000	64000	64000
64000	64000	64000

DELIMITAZIONE DELL'AREA NELLA QUOTA DEL PRESENTI LAVORI



Raffineria di Gela S.p.A.

DIGA SUL FIUME DIRILLO
SERBATOIO DI LICODIA EUBEA
Territorio di Licodia Eubea (Catanca)

PROGETTO DI SEZIONI DELL'INVASO DIGA DIRILLO
Fase: PROGETTO DI SEZIONI
in collaborazione con: SIDA, SIDA/STUDIO, SIDA/STUDIO

10/2009

STUDIO DI INGEGNERIA SIDA
S.p.A. - Via SIDA/STUDIO, 10 - 95013 Licodia Eubea (Catanca)

PROGETTO E STUDIO GEOLOGICO Autore: SIDA/STUDIO Data: Settembre 09 Stato: L.C.1		CONSULENZA IDRAULICA SIDA/STUDIO, SIDA/STUDIO SIDA/STUDIO, SIDA/STUDIO	
OGGETTO <i>Caratteristiche tecniche</i> - Vol. 1		CONSULENZA GEOLOGICA SIDA/STUDIO, SIDA/STUDIO, SIDA/STUDIO	
IMPRESARIA DELLA PROIEZIONE SIDA/STUDIO, SIDA/STUDIO DIGA DIRILLO SIDA/STUDIO, SIDA/STUDIO		REDATTORE DELLO STUDIO SIDA/STUDIO, SIDA/STUDIO, SIDA/STUDIO	

LEGENDA

- PENDENZE 0-15%
- PENDENZE 15-30%
- PENDENZE 30-45%
- PENDENZE 45-60%
- PENDENZE OLTRE IL 60%
- LIMITE DEL BACINO SOTTESO

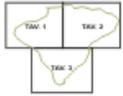
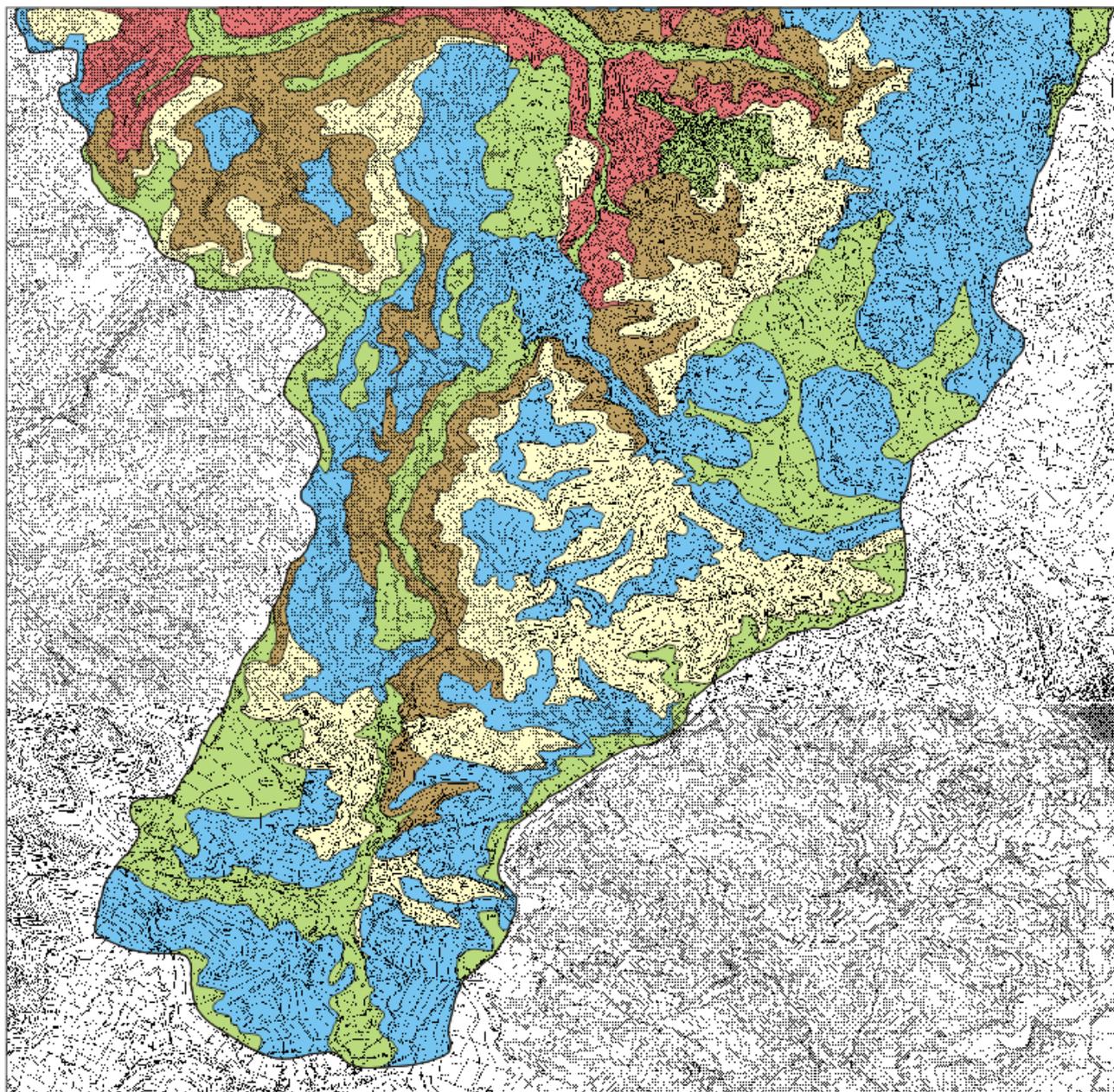
LOCALIZZAZIONE DELL'AREA IN ITALIA



INDICAZIONE DELL'AREA NELLA CARTOGRAFIA
D.T.R. 10/04/1998

045010	045020	045030
045040	045050	045060
045070	045080	045090
045100	045110	045120

INDICAZIONE DELL'AREA NELLA MAPPA DEL PRESENTE LAVORO

APPENDICE D
Carta Pedologica

Raffineria di Gela S.p.A.

DIGA SUL FIUME DIRILLO
SERBATOIO DI LICODIA EUBEA
Territorio di Licodia Eubea, Spina di Licodia

PROGETTO DI GESTIONE DELL'INVASO DIGA DIRILLO
Fiume DIRILLO, Bacini di alimentazione superiori

1988/89

STUDIO DI FIDUCIARIARIA LAVORI
SULLE OPERAZIONI DI PROGETTO E REALIZZAZIONE DELLE OPERAZIONI DI PROGETTO

<p>Autore: S. LAURIA</p> <p>Edifici: S.p.A.</p> <p>Objetto: Cava Fidejussoria - Tav. 1</p>	<p>CONSIGLIAZIONE IDROLOGICA: DOTT. ING. ALBERTO A. LUCIA DOTT. ING. FRANCESCO VIGIA</p> <p>CONSIGLIAZIONE GEOLOGICA: DOTT. ING. GIOVANNI ANTONIO</p>
<p>RESPONSABILE DELLA REALIZZAZIONE: DOTT. ING. FRANCESCO VIGIA</p> <p>DIGA DIRILLO DOTT. ING. FRANCESCO VIGIA</p>	<p>REDATTORE DELLO STUDIO: DOTT. ING. FRANCESCO VIGIA</p>

LEGENDA

- ROCCIA AFFIORANTE
- LITOSUOLI
- REGOSUOLI
- REGOSUOLI SABBIOSI
- SUOLI RENDZINA
- SUOLI BRUNI VERTICI
- SUOLI BRUNI ANDICI
- SUOLI BRUNI
- SUOLI ALLUVIONALI
- AREE PRELIEVO CAMPIONI
- LIMITE DEL BACINO SOTTESO

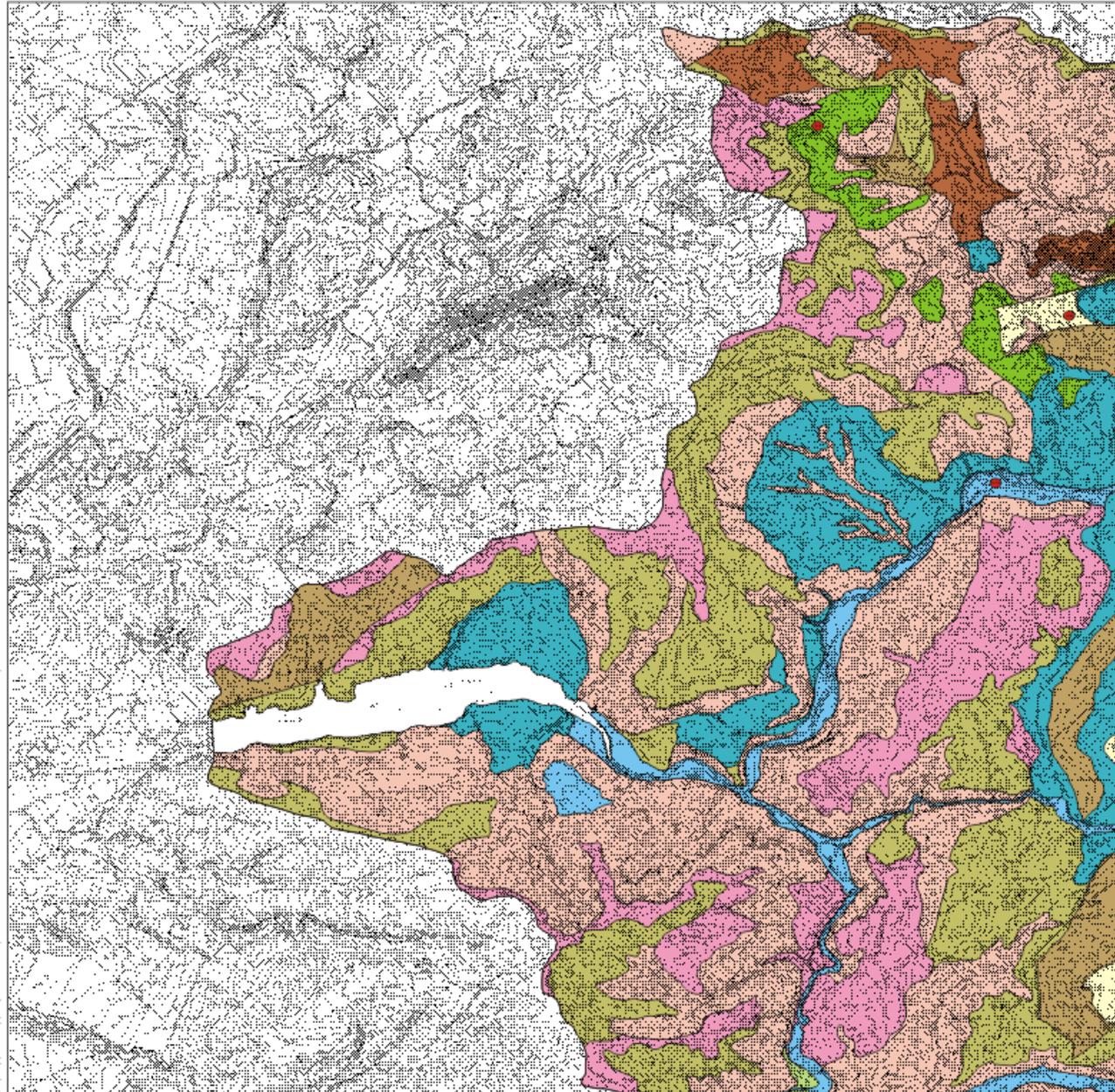
LOCALIZZAZIONE DELLA DIGA IN ITALIA

DELIMITAZIONE DELLA DIGA NEL LAVORO DI BACINO CANTONIERO
S.P. 100/101/102/103/104/105/106/107/108/109/110/111/112/113/114/115/116/117/118/119/120

848101	848102	848103
848104	848105	848106
848107	848108	848109
848110	848111	848112

DELIMITAZIONE DELLA DIGA NEL LAVORO DI PROGETTO LAVORO

TAV. 1	TAV. 2
TAV. 3	



Raffineria di Gela S.p.A.

DIGA SUL FIUME DIRILLO
SERBATOIO DI LICODIA EUBEA
Territorio di Licodia Eubea (Syracusa) (CT)

PROGETTO DI GESTIONE DELL'INVASO DIGA DIRILLO
S.p.A. LICODIA EUBEA - 09100 - CATANIA
S.p.A. LICODIA EUBEA - 09100 - CATANIA
- 09100 - CATANIA -

STUDIO DI INGEGNERIA SCIENTIFICA

Ing. Roberto C. Di Stefano Viale: 1-14-0000 - Catania Tel.: 095-311111 - Catania (CT)	CONSULENZA IDRAULICA: ING. ING. GIUSEPPE A. LUGO ING. ING. FRANCESCO ROTONDI ING. ING. FRANCESCO JULLA
Oggetto: Carta Pedologica - Tav. 1	CONSULENZA GEOLOGICA: ING. ING. GIUSEPPE GIOVANNI ANTONIO
RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE: ING. ING. FRANCESCO JULLA	REDATTORE DELLO STUDIO: ING. ING. FRANCESCO JULLA

LEGENDA

- ROCCIA AFFIORANTE
- LITOSUOLI
- REGOSUOLI
- REGOSUOLI SABBIOSI
- SUOLI RENDZINA
- SUOLI BRUNI VERTICI
- SUOLI BRUNI ANDICI
- SUOLI BRUNI
- SUOLI ALLUVIONALI
- AREE PRELIEVO CAMPIONI
- LIMITE DEL BACINO SOTTESO

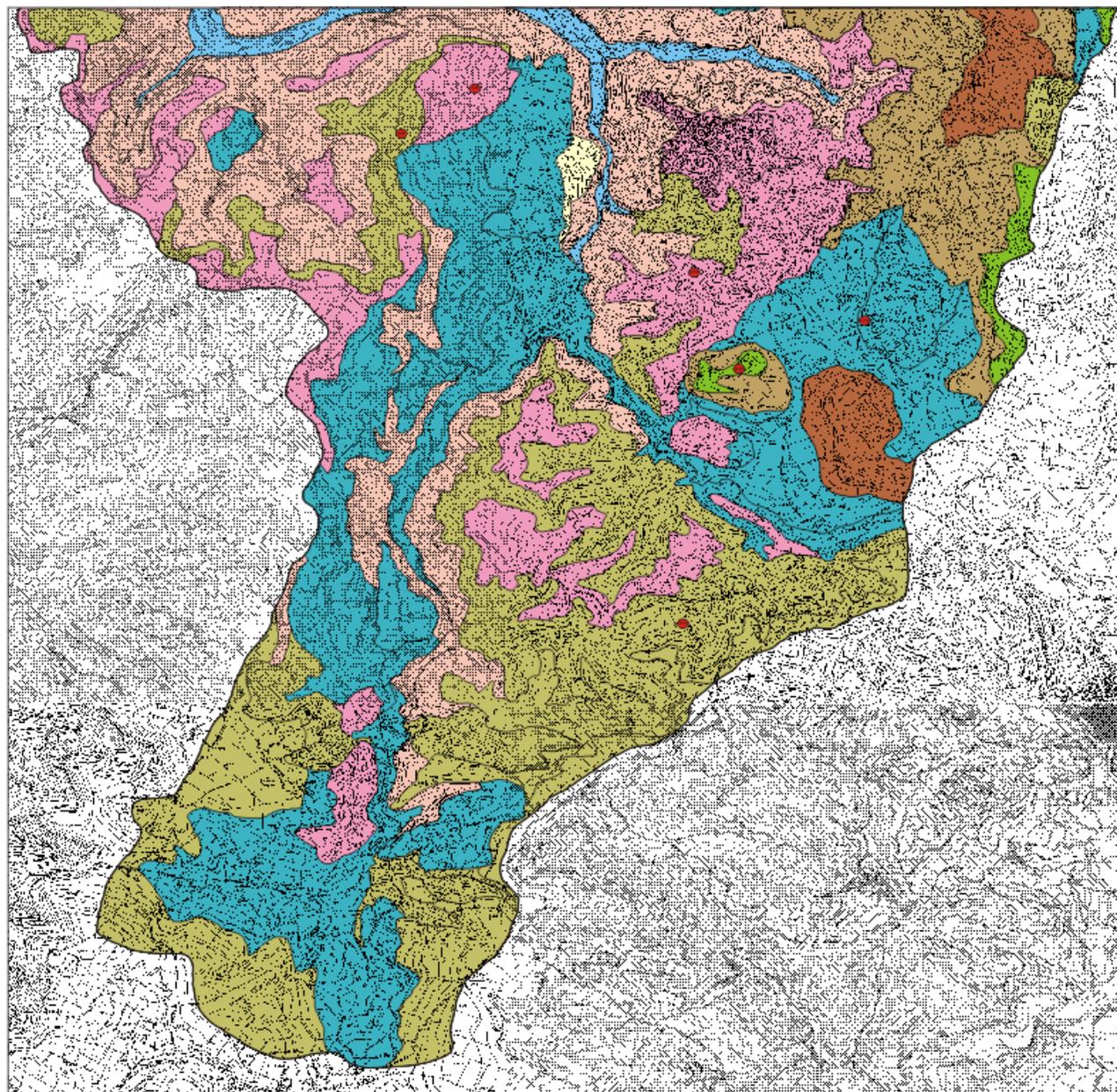
LOCALIZZAZIONE DELL'AREA IN REGIONE

POSIZIONE DELL'AREA NEL CANTONE DELLA CARTOGRAFIA
C.T. 09100 - CATANIA

048070	048080	048090
048080	048090	048100
048090	048100	048110

POSIZIONE DELL'AREA NEL CANTONE DEL PRESENTI LAVORI

TAV. 1	TAV. 2
TAV. 3	



APPENDICE E
Carta Uso del Suolo

Raffineria di Gela S.p.A.

DIGA SUL FIUME DIRILLO
SERBATOIO DI LICODIA EUBEA
Territorio di Licodia Eubea, Spina di Catania

PROGETTO DI GESTIONE DELL'IRRIGUO DIGA DIRILLO
Fiume: DIRILLO; Serbatoio: LICODIA EUBEA
CANTIERE 2005

STUDIO DI FIDUCIARIARIA LAVORI
SISTEMI DI IRRIGAZIONE AGRICOLA

Numero 2 - Titolo progetto: Scala: 1:50.000 Data: Edita: L.14 Revisione: 00 Oggetto: Area A41 e A42 (Tab. 1, 2, 3)	CONSIGLIAZIONE IDROLOGICA: DOTT. ING. ALBERTO A. LEBBE DOTT. ING. FRANCESCO VERA DOTT. ING. FRANCESCO VERA
RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE: FIDUCIARIARIA S. R. L. DIGA DIRILLO DOTT. ING. FRANCESCO VERA	CONSIGLIAZIONE GEOLOGICA: DOTT. GEOL. GIOVANNI ANTONIO
REDATTORE DELLO STUDIO: DOTT. ING. FRANCESCO VERA	

LEGENDA

- BOSCO
- VIGNETO
- ARBORATO
- SEMINATIVO SEMPLICE
- PASCOLO INCOLTO
- AREE URBANIZZATE
- LIMITE DEL BACINO SOTTESO
- ← DIREZIONE DI ARATURA

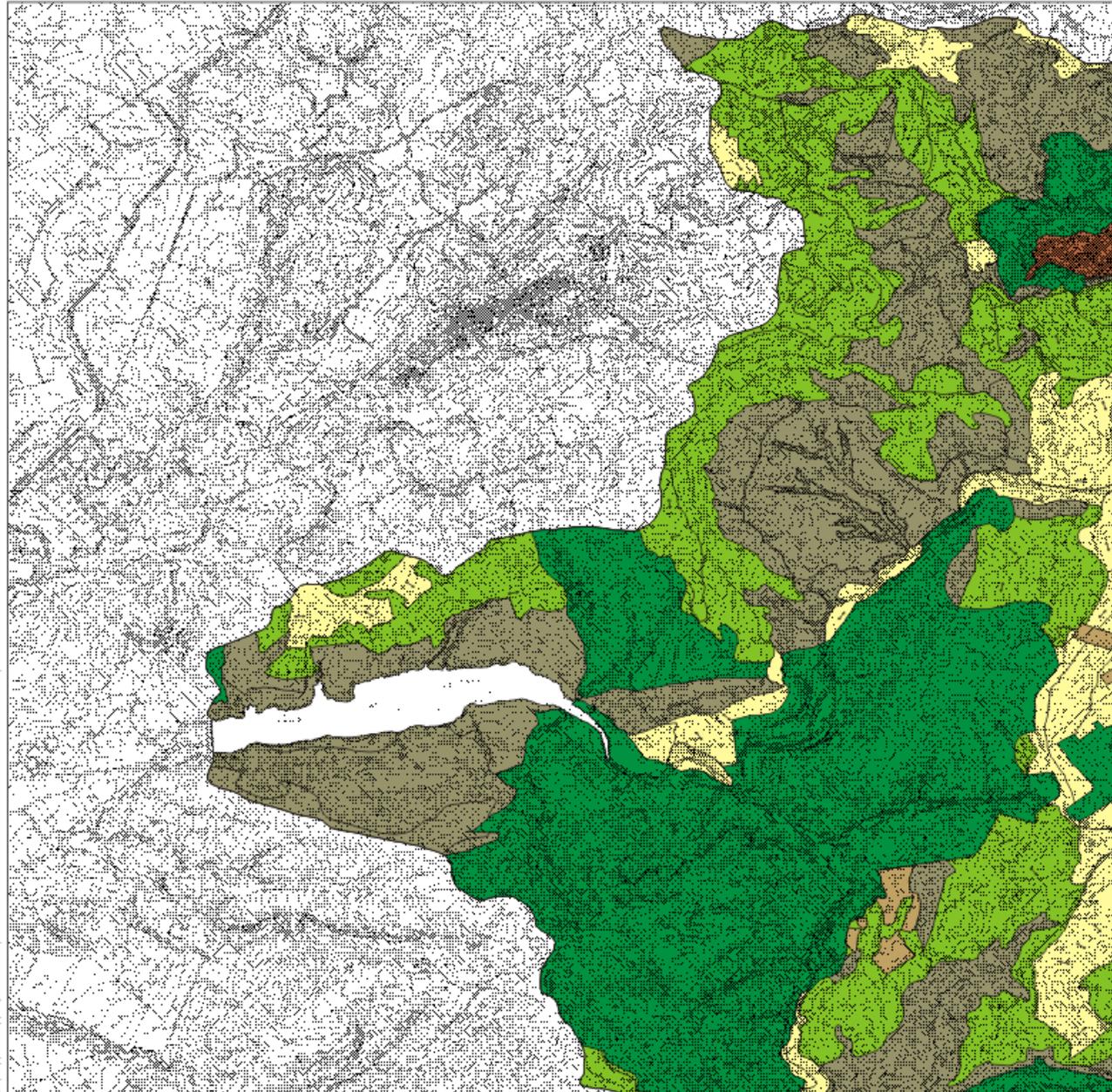
LOCALIZZAZIONE DELLA DIGA IN ITALIA

LOCALIZZAZIONE DELLA DIGA NEL TERRITORIO DI LICODIA EUBEA

848710	848720	848730
848800	848810	848820
848900	848910	848920
849000	849010	849020

LOCALIZZAZIONE DELLA DIGA NEI CANTIERI 2005

Tab. 1	Tab. 2
Tab. 3	



Raffineria di Gela S.p.A.

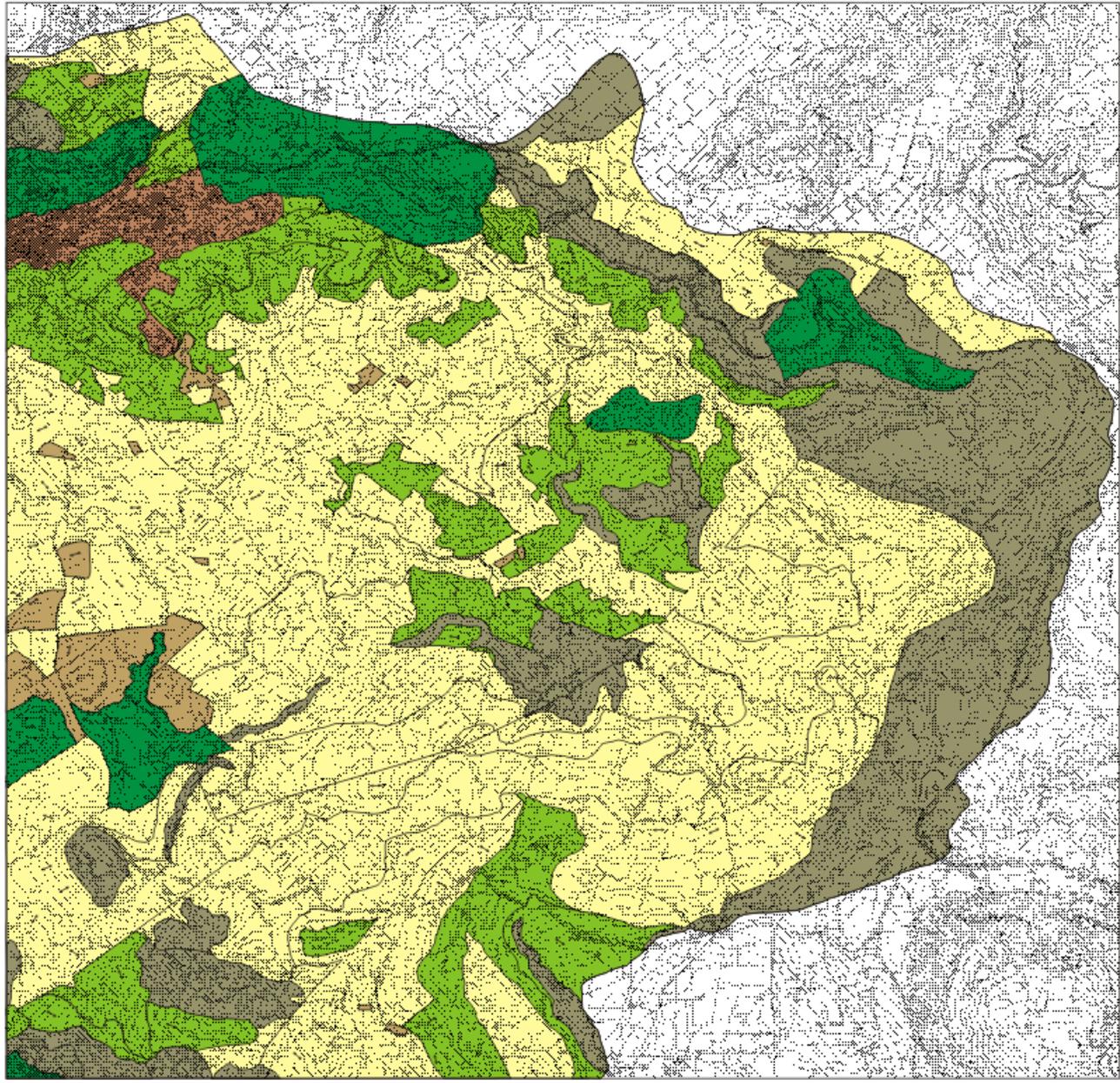
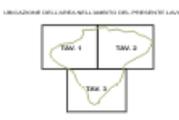
DIGA SUL FIUME DIRILLO
SERBATOIO DI LICODIA EUBEA
Territorio di Licodia Eubea (Syracusa) (Catania)

PROGETTO DI GESTIONE DELL'IMPIANTO DIGA DIRILLO
C.A. LICODIA EUBEA - C.A. LICODIA EUBEA
C.A. LICODIA EUBEA - C.A. LICODIA EUBEA
- CRONATA 2005 -

STUDIO DI INGEGNERIA SIVIERI

<p>Autore: F. SIVIERI (progettista)</p> <p>Scale: 1:10.000 (Dato)</p> <p>Scale: 1:5.000 (Riduzione 50%)</p> <p>Appalto: F. SIVIERI & C. S.p.A. - C.A. -</p>	<p>CONSULENZA IDRAULICA: DOTT. ING. ANTONIO LONZI DOTT. ING. ANTONIO LONZI DOTT. ING. FRANCESCO VERA</p> <p>CONSULENZA GEOLOGICA: DOTT. GEORGIO GIOVANNI ANTONI</p>
<p>RESPONSABILE DELLA PROIEZIONE DELLE OPERE E DELL'OPERA: DIGA DIRILLO DOTT. ING. ANTONIO LONZI</p>	<p>INGEGNERE DELLO STUDIO: DOTT. ING. FRANCESCO SIVIERI</p>

- LEGENDA**
- BOSCO
 - VIGNETO
 - ARBORATO
 - SEMINATIVO SEMPLICE
 - PASCOLO INCOLTO
 - AREE URBANIZZATE
 - LIMITE DEL BACINO SOTTESO
 - ↔ DIREZIONE DI ARATURA



APPENDICE F

Valori mensili di precipitazione registrati nelle stazioni pluviografiche utilizzate

Precipitazioni registrate nella stazione pluviografica di Ragusa (mm) (alt. 650m s.m.m.). In corsivo dati mensili incompleti													
ANNO	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALE
1960	59.0	40.4	158.0	71.6	45.0	40.8	0.0	0.0	20.6	20.6	30.2	235.4	721.6
1961	142.2	21.4	49.0	80.0	3.0	13.4	25.8	4.8	21.4	62.8	114.2	47.8	585.8
1962	36.6	54.4	76.8	18.4	0.6	2.0	0.6	2.4	1.0	144.8	93.4	81.2	512.2
1963	44.0	121.6	36.0	44.2	84.4	4.6	117.2	24.6	55.0	94.8	14.4	133.5	774.3
1964	168.0	40.8	38.0	183.4	16.6	39.8	13.2	72.2	3.2	42.0	40.4	192.8	850.4
1965	170.6	123.2	33.6	46.4	5.4	0.0	0.0	119.2	22.6	270.0	37.6	85.6	914.2
1966	62.6	56.4	87.6	77.8	31.2	0.2	0.0	0.0	29.8	115.6	75.4	35.8	572.4
1967	70.2	128.5	37.2	24.0	14.8	0.0	7.0	23.8	20.0	90.8	69.8	121.0	607.1
1968	150.8	50.2	26.4	20.4	10.8	62.8	0.0	0.0	49.6	33.6	46.6	132.6	583.8
1969	97.6	76.0	96.2	17.6	15.8	0.0	1.4	13.0	187.4	69.0	55.8	196.0	825.8
1970	67.0	35.0	55.6	21.0	15.4	2.6	0.0	0.0	85.8	48.0	8.8	105.8	445.0
1971	126.8	133.6	74.2	15.0	25.2	0.4	7.8	0.0	32.4	89.0	54.2	31.6	590.2
1972	104.2	86.4	53.4	25.6	16.8	0.0	0.0	2.8	6.4	111.2	0.0	118.2	525.0
1973	205.0	92.8	82.0	18.2	15.8	0.0	0.4	27.2	18.6	38.2	17.6	121.0	636.8
1974	39.2	102.4	44.2	78.6	13.6	44.4	0.0	3.4	48.0	125.4	63.8	18.2	581.2
1975	6.4	72.8	73.8	19.8	21.4	0.0	0.0	95.8	61.0	62.6	158.2	43.8	615.6
1976	48.4	119.6	107.4	10.6	25.6	62.4	3.8	2.6	12.4	218.4	218.0	145.2	974.4
1977	109.4	33.6	2.6	54.0	2.4	2.0	0.0	1.6	14.8	34.8	14.2	-	269.4
1978	122.4	35.4	20.2	90.2	35.2	1.8	0.0	9.4	12.8	75.2	100.4	61.6	564.6
1979	51.8	77.0	26.6	88.2	9.6	5.4	0.0	31.2	63.2	157.7	117.2	10.8	638.7
1980	58.0	52.6	103.0	23.8	25.2	0.4	0.0	0.0	15.4	35.2	62.4	129.8	505.8
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	121.2	101.6	54.0	117.2	34.2	12.4	7.0	0.8	33.8	87.4	196.8	167.8	934.2
1983	9.2	38.6	77.8	2.2	6.4	1.0	33.4	2.0	46.8	95.4	105.4	99.2	517.4
1984	24.2	57.4	55.4	37.4	0.0	0.0	0.0	1.4	53.8	47.0	66.0	222.8	565.4
1985	312.0	57.0	76.0	83.2	12.6	1.4	11.4	0.0	14.8	90.4	24.6	16.8	700.2
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1989	45.2	42.6	22.6	33.0	7.4	0.2	1.2	21.6	29.2	99.2	43.4	88.8	434.4
1990	113.0	41.0	8.2	96.2	18.4	3.6	2.2	23.0	54.6	33.0	35.8	204.2	633.2
1991	63.4	65.4	19.0	44.2	14.0	1.6	0.0	20.4	39.2	116.8	49.8	115.0	548.8
1992	260.8	20.8	45.4	30.6	36.6	11.4	20.0	36.8	59.0	41.2	9.6	153.4	725.6
1993	22.4	60.4	34.2	23.8	113.4	0.0	0.0	0.0	16.0	79.0	168.4	162.6	680.2
1994	78.4	45.6	10.0	58.8	9.8	13.8	33.2	40.8	52.0	86.8	71.4	91.8	592.4
1995	50.8	56.8	54.0	30.2	20.8	0.0	1.8	11.6	42.4	15.8	101.6	124.2	510.0
1996	161.6	332.0	158.6	42.4	23.6	22.8	23.6	55.4	11.6	103.0	35.4	172.4	1142.4
1997	80.4	43.0	62.2	60.8	9.8	7.0	0.0	74.0	167.0	148.6	170.4	75.8	899.0
1998	57.8	26.4	63.2	50.4	11.0	0.0	0.0	23.2	66.2	26.4	68.6	81.4	474.6
1999	79.2	43.8	48.0	13.2	0.4	0.8	59.0	29.6	63.2	25.4	222.8	194.4	779.8
2000	164.4	21.2	2.4	64.4	24.8	26.2	0.0	0.0	26.8	7.2	10.4	0.0	347.8
2001	103.8	36.2	36.4	55.2	50.0	2.0	0.0	49.0	1.6	20.6	49.6	38.2	442.6
2002	61.0	34.0	18.2	34.0	26.2	0.4	1.4	32.0	6.2	92.6	100.4	73.4	479.8
2003	165.8	72.4	22.6	92.0	7.8	17.4	0.0	19.2	190.2	58.6	80.4	155.0	881.4
2004	42.8	7.6	38.6	125.8	18.8	10.6	31.8	0.0	100.2	37.4	125.4	234.8	773.8
2005	113.0	196.4	-	74.8	23.0	27.4	2.0	1.8	32.4	59.0	40.8	157.6	728.2
2006	39.0	99.0	20.4	18.8	1.2	17.4	51.4	2.2	25.4	95.2	67.4	238.2	675.6
2007	7.0	25.6	179.4	44.0	16.4	26.6	0.0	1.2	39.6	60.6	91.6	190.8	682.8
2008	48.0	28.6	60.2	33.2	5.6	22.4	14.4	2.4	27.4	42.4	102.2	149.8	536.6
media	92.5	69.1	55.7	51.0	20.6	11.3	10.5	19.6	44.0	78.0	76.2	119.5	647.9

Precipitazioni registrate nella stazione pluviografica di Licodia Eubea (mm) (alt. 331 m s.m.m.)													
ANNO	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALE
1960	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1961	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1962	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1963	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1964	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1965	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1966	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1967	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1968	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1969	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1970	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1971	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1972	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1973	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1974	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1975	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1976	64.4	38.2	9.0	37.0	8.6	21.0	38.4	1.2	68.2	84.2	52.6	54.0	476.8
1977	85.2	25.8	1.6	55.8	3.6	0.2	0.2	1.8	62.2	16.2	24.2	30.6	307.4
1978	132.8	21.4	38.2	116.2	49.8	22.8	0.0	29.6	6.6	97.4	97.6	46.2	658.6
1979	72.0	83.6	31.2	77.2	32.2	4.6	0.2	10.4	38.2	81.4	97.2	13.6	541.8
1980	65.8	43.8	111.4	25.8	17.2	0.0	0.0	0.0	38.6	25.4	64.0	73.8	465.8
1981	71.2	35.6	0.8	0.6	2.6	0.0	3.0	1.8	18.2	12.6	19.8	59.2	225.4
1982	193.8	131.6	95.6	41.0	19.8	29.2	14.6	4.2	29.0	135.2	125.2	90.6	909.8
1983	1.2	40.0	34.6	0.4	0.8	21.2	12.8	1.8	48.4	77.4	70.2	84.4	393.2
1984	17.0	32.6	32.2	25.6	1.4	0.0	0.0	11.2	58.6	22.8	62.2	177.8	441.4
1985	360.6	33.4	74.8	58.2	21.6	0.0	25.0	0.0	14.6	52.2	33.6	4.2	678.2
1986	51.2	88.8	85.4	4.2	1.4	2.0	10.8	37.4	43.4	126.2	318.8	136.4	906.0
1987	42.0	33.2	83.6	10.8	36.8	0.2	19.2	0.0	27.6	9.0	26.0	20.6	309.0
1988	43.8	35.8	44.8	33.4	0.0	1.4	0.0	1.2	39.0	15.0	102.0	107.0	423.4
1989	45.8	104.4	28.2	20.6	4.0	16.4	8.8	47.8	17.8	63.6	91.2	98.2	546.8
1990	85.8	11.8	10.2	69.8	58.8	0.4	2.2	13.6	20.4	50.2	70.0	180.6	573.8
1991	87.8	59.8	19.0	53.0	23.2	2.8	0.0	0.0	119.6	77.4	65.0	96.4	604.0
1992	251.2	3.2	21.8	29.2	69.0	35.6	32.4	56.6	32.8	27.0	8.6	119.4	686.8
1993	28.8	29.2	38.8	19.6	26.2	0.0	0.0	1.2	16.2	74.4	110.4	102.0	446.8
1994	64.4	38.2	9.4	37.0	8.6	21.0	38.4	1.2	68.2	84.2	52.6	54.0	477.2
1995	36.6	22.2	38.4	17.4	19.4	0.0	50.0	20.8	49.8	5.2	106.8	117.0	483.6
1996	115.8	163.0	59.6	40.4	25.4	48.6	1.0	15.8	19.4	79.4	24.2	130.8	723.4
1997	52.4	16.8	55.0	37.0	29.0	5.8	0.0	50.2	31.8	241.4	115.2	48.6	683.2
1998	24.4	16.6	56.4	44.8	45.4	0.0	0.0	5.4	34.0	55.2	50.0	66.0	398.2
1999	-	38.8	35.0	11.6	8.0	0.4	0.8	8.2	100.0	8.0	158.8	141.2	510.8
2000	78.6	21.4	2.8	51.2	32.2	14.8	0.6	1.8	53.6	84.6	48.2	93.4	483.2
2001	109.2	34.4	15.6	28.8	23.8	0.0	0.0	65.0	2.0	1.6	41.2	30.2	351.8
2002	54.8	29.4	12.4	35.6	32.8	0.4	17.6	12.4	46.0	55.2	97.4	52.6	446.6
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
media	86.0	45.7	38.7	36.4	22.3	9.2	10.2	14.8	40.9	61.6	79.0	82.5	527.4

Precipitazioni registrate nella stazione pluviografica di Palazzolo (mm) (alt. 640 m s.m.m.). In corsivo dati mensili incompleti													
ANNO	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALE
1960	67.2	71.8	172.3	73.8	75.2	34.6	0.0	0.0	33.0	45.2	23.0	182.9	779.0
1961	65.8	16.0	66.2	50.6	16.0	7.8	5.2	2.2	43.4	8.2	-	55.2	336.6
1962	35.4	52.0	131.2	19.8	0.0	7.6	0.6	3.8	28.2	142.8	86.6	54.8	562.8
1963	87.0	84.4	59.4	85.8	69.8	15.2	79.2	4.4	35.4	71.2	17.0	115.2	724.0
1964	233.0	71.6	22.2	118.2	11.0	103.1	44.0	24.8	12.4	44.8	33.4	191.0	909.5
1965	164.8	69.2	17.8	20.2	7.8	0.0	0.0	51.6	6.4	438.2	33.2	80.2	889.4
1966	40.0	23.4	73.4	21.4	124.8	3.0	0.0	0.0	60.8	153.6	69.6	29.6	599.6
1967	61.2	69.0	33.0	41.8	5.4	0.0	7.2	18.4	5.8	-	65.6	92.8	400.2
1968	51.8	56.2	29.8	10.8	8.4	29.0	2.2	0.0	10.6	-	65.6	92.8	357.2
1969	75.6	47.6	125.4	21.0	17.8	0.0	19.8	64.8	347.6	157.0	51.8	156.0	1084.4
1970	43.4	22.6	36.4	13.4	24.4	2.4	0.0	1.2	93.2	93.8	5.6	158.0	494.4
1971	100.8	118.2	54.4	31.8	33.4	0.0	0.6	0.0	16.6	35.8	26.4	69.0	487.0
1972	80.0	57.8	102.0	14.6	6.6	0.8	2.0	2.0	16.8	86.0	1.4	303.4	673.4
1973	273.4	92.6	134.6	44.2	7.6	2.6	0.0	31.8	33.0	46.8	22.6	166.4	855.6
1974	26.6	76.8	44.4	69.8	7.4	0.0	0.0	10.0	43.2	70.0	111.4	6.6	466.2
1975	17.8	133.4	82.0	9.6	22.0	9.6	0.0	68.4	22.2	48.2	126.0	108.4	647.6
1976	24.8	103.0	85.2	22.0	41.6	39.6	12.0	13.2	51.4	266.4	164.8	145.2	969.2
1977	105.6	13.4	2.6	29.8	2.4	4.6	0.0	1.6	40.8	11.6	29.2	19.2	260.8
1978	136.4	31.0	14.4	89.2	31.8	11.0	0.0	44.4	12.8	146.8	95.6	52.8	666.2
1979	55.2	85.2	34.6	84.0	23.4	3.6	0.0	13.6	85.8	96.4	85.6	19.6	587.0
1980	55.8	51.2	70.8	33.0	23.0	0.4	0.0	0.4	17.4	47.2	65.4	148.8	513.4
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	71.6	96.0	30.8	88.0	20.0	13.0	5.2	14.2	58.6	144.6	134.8	88.6	765.4
1983	1.0	31.2	31.6	2.8	6.8	2.4	7.0	12.6	57.0	80.6	85.0	62.8	380.8
1984	10.0	45.0	39.4	38.2	0.4	1.2	0.0	10.6	40.0	90.2	54.6	185.2	514.8
1985	223.0	31.0	50.8	42.4	17.0	0.0	4.0	14.4	18.8	124.2	27.4	21.2	574.2
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1990	97.4	11.4	4.2	91.2	55.0	0.6	9.6	70.4	14.6	34.8	60.0	140.4	589.6
1991	100.0	88.4	20.8	49.8	18.2	2.6	5.6	37.6	53.4	107.2	48.4	108.6	640.6
1992	284.8	11.0	26.0	28.2	52.6	23.2	8.8	23.2	73.8	24.0	4.0	108.4	668.0
1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	42.8	50.0	7.0	71.2	8.8	18.8	93.6	16.4	52.4	119.2	155.2	55.4	690.8
1995	72.4	50.0	53.4	30.4	55.4	0.6	11.6	102.8	112.8	27.8	135.8	231.4	884.4
1996	261.6	350.8	200.6	51.2	19.2	49.2	21.2	72.8	43.2	78.6	30.2	244.6	1423.2
1997	111.8	59.6	94.4	52.2	11.4	5.6	0.0	75.2	106.8	237.6	144.6	72.6	971.8
1998	63.0	5.6	71.0	68.2	16.6	0.0	0.0	69.2	56.0	27.0	55.0	46.2	477.8
1999	72.8	15.2	39.4	16.8	6.0	0.6	2.2	55.4	98.6	14.6	197.0	202.4	721.0
2000	204.0	51.6	11.8	51.6	49.6	8.8	35.0	25.6	110.8	94.0	32.8	181.2	856.8
2001	101.8	33.6	12.4	16.0	22.6	1.8	0.2	92.6	3.0	1.6	46.4	74.2	406.2
2002	52.8	64.8	45.2	36.2	17.2	0.0	1.6	22.8	56.2	38.4	115.4	35.8	486.4
2003	164.6	96.8	43.8	103.6	11.4	32.6	0.0	34.4	355.8	55.0	121.6	86.2	1105.8
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
media	98.3	64.2	57.2	45.9	24.9	11.5	10.0	29.1	61.3	91.9	71.0	110.3	675.7

Precipitazioni registrate nella stazione pluviografica di Vizzini (mm) (alt. 610 , s.m.m.). In corsivo dati mensili incompleti													
ANNO	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALE
1960	88.8	42.4	112.8	55.4	47.0	5.4	0.0	0.0	0.0	11.6	23.8	124.6	511.8
1961	70.4	20.6	42.8	31.4	15.6	6.6	13.0	6.4	46.8	2.0	43.6	42.2	341.4
1962	10.6	22.6	77.6	6.0	0.2	0.0	0.0	12.6	1.4	153.8	39.2	34.0	358.0
1963	41.2	54.0	26.2	28.6	76.0	9.2	78.2	5.4	59.8	35.6	6.4	62.0	482.6
1964	93.2	31.6	28.0	97.4	28.6	10.6	34.8	47.2	43.2	11.8	15.2	124.6	566.2
1965	80.0	61.8	15.6	20.0	2.2	0.0	2.6	40.2	7.8	135.8	36.0	36.8	438.8
1966	57.8	15.1	61.6	80.0	131.6	5.2	0.0	0.0	18.6	89.8	74.2	27.2	561.1
1967	66.8	68.2	30.8	15.8	4.4	0.0	26.4	3.8	19.0	71.8	31.0	65.2	403.2
1968	119.4	37.2	14.6	7.6	7.8	11.0	1.4	0.0	39.8	71.8	31.0	65.2	406.8
1969	60.2	41.2	78.6	14.0	12.4	0.0	4.8	7.0	344.8	67.0	28.4	128.2	786.6
1970	496.0	22.4	12.6	32.4	10.2	12.0	16.0	0.0	0.0	57.2	5.2	6.4	670.4
1971	80.0	86.8	73.6	16.2	30.0	0.8	0.6	0.0	35.6	60.6	42.6	44.8	471.6
1972	77.0	64.8	27.2	35.2	14.6	0.6	5.8	2.2	5.6	83.6	0.0	102.4	419.0
1973	192.0	123.4	110.8	29.4	6.6	0.0	7.6	7.2	26.6	39.0	13.6	138.2	694.4
1974	13.2	110.4	32.6	68.2	2.2	0.4	0.0	15.0	33.6	61.8	62.8	3.0	403.2
1975	18.6	100.4	85.8	3.4	42.6	6.6	0.0	80.4	11.8	9.2	5.4	57.8	422.0
1976	31.0	124.0	72.6	21.0	21.0	16.8	16.6	22.0	40.8	239.6	152.2	91.6	849.2
1977	74.4	20.4	0.8	41.8	1.8	0.6	0.0	1.8	6.4	50.8	15.2	21.2	235.2
1978	115.0	11.6	16.0	109.0	41.6	32.2	0.0	2.6	9.4	99.8	98.8	40.2	576.2
1979	38.8	75.4	24.0	88.6	15.4	0.6	0.0	10.8	27.0	93.4	62.0	13.6	449.6
1980	85.6	38.8	53.6	27.2	14.0	1.0	0.0	0.0	51.2	22.2	46.0	65.6	405.2
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	-	13.6	86.8	113.8	42.8	7.2	13.2	11.4	43.8	132.0	103.4	102.8	670.8
1983	0.2	40.4	51.0	0.0	3.2	18.0	22.8	17.4	70.8	66.0	107.6	125.8	523.2
1984	11.8	61.0	86.6	38.8	6.8	0.0	0.0	7.2	54.8	42.0	63.6	238.8	611.4
1985	329.0	43.6	64.2	63.4	27.2	0.0	0.0	0.0	5.8	77.6	23.0	12.2	646.0
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1989	49.6	116.6	30.4	19.6	6.4	28.0	5.8	10.6	17.0	28.0	35.4	76.4	423.8
1990	48.2	5.6	7.6	15.2	36.4	0.0	0.0	8.0	27.2	54.2	81.8	135.2	419.4
1991	15.2	27.2	32.6	40.0	11.2	3.2	2.4	19.0	87.6	51.0	44.8	128.4	462.6
1992	177.4	5.2	19.4	18.6	53.2	24.0	6.4	39.8	40.0	19.0	6.6	144.8	554.4
1993	25.2	29.6	28.6	16.0	27.6	0.0	0.0	0.0	15.2	-	-	-	142.2
1994	-	48.0	3.4	21.4	22.8	19.2	31.8	0.0	87.6	125.2	38.6	52.8	450.8
1995	63.4	46.4	36.2	23.2	22.0	0.0	30.6	23.0	23.6	1.0	65.6	129.2	464.2
1996	73.6	183.6	70.2	40.4	19.2	21.4	0.0	43.0	36.0	78.2	9.2	31.6	606.4
1997	76.6	35.8	68.6	40.8	8.2	4.4	0.0	63.4	60.2	180.8	120.2	54.4	713.4
1998	43.0	14.2	56.8	33.6	36.4	0.0	0.0	21.0	7.8	-	-	-	212.8
1999	42.4	39.2	42.2	18.4	1.0	0.0	16.0	4.4	8.2	3.6	153.2	44.2	372.8
2000	23.4	22.4	1.0	54.6	25.8	0.0	0.0	1.4	7.4	173.2	39.0	65.0	413.2
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	55.6	53.4	23.6	32.4	31.8	0.0	5.0	7.8	88.6	43.8	5.8	41.0	388.8
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
media	81.8	51.6	44.9	37.3	23.9	6.4	9.0	14.3	39.8	70.7	48.1	74.4	502.1

Precipitazioni registrate nella stazione pluviografica di Francofonte (mm) (alt. 100 m s.m.m.). In corsivo dati mensili incompleti													
ANNO	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALE
1960	68.9	166.1	128.2	29.7	23.4	74.5	0.0	0.0	13.5	35.6	3.4	132.1	675.4
1961	46.0	0.0	36.8	0.0	4.6	15.5	23.0	0.0	14.3	0.0	17.9	53.0	211.1
1962	53.8	42.9	129.0	28.7	0.0	13.9	11.2	0.0	3.0	141.5	97.2	44.8	566.0
1963	118.5	124.2	64.5	99.0	53.2	10.2	210.2	0.0	75.0	55.5	0.0	0.0	810.3
1964	191.5	37.5	20.5	399.5	43.5	40.0	20.0	57.1	26.0	123.0	39.0	165.3	1162.9
1965	109.5	27.0	15.4	17.5	1.1	0.0	0.0	88.0	12.0	427.0	22.5	38.5	758.5
1966	30.0	7.0	100.0	135.0	297.0	0.0	0.0	0.0	34.0	119.0	60.0	17.0	799.0
1967	52.5	115.0	18.0	27.0	7.0	0.0	3.0	9.5	5.0	100.0	45.0	75.0	457.0
1968	119.5	55.0	33.0	11.0	21.5	50.0	0.0	0.0	74.0	36.0	8.0	106.0	514.0
1969	47.0	36.5	121.0	34.0	3.0	2.5	3.0	36.5	600.5	242.5	12.0	87.0	1225.5
1970	104.0	10.0	27.0	9.5	16.0	3.0	0.0	0.0	12.0	116.1	1.0	141.0	439.6
1971	16.8	87.4	50.0	23.0	21.0	9.0	1.0	4.0	53.0	225.0	97.0	80.0	667.2
1972	79.0	31.0	77.0	52.0	24.0	1.0	11.4	9.6	40.0	117.0	0.0	317.0	759.0
1973	290.0	154.0	160.0	48.0	19.0	1.0	16.0	26.0	15.0	85.0	0.0	229.5	1043.5
1974	10.0	72.1	18.1	87.0	0.0	0.0	0.0	12.0	40.0	99.0	39.0	0.0	377.2
1975	20.0	113.0	42.0	4.0	28.0	0.0	0.0	97.0	14.0	201.0	159.1	99.0	777.1
1976	57.3	97.0	119.4	14.5	41.6	46.0	100.0	121.0	20.0	198.0	175.0	112.0	1101.8
1977	110.0	18.0	5.0	58.0	4.0	5.0	0.0	0.0	18.4	3.0	50.3	43.0	314.7
1978	72.1	11.0	30.0	92.8	38.0	8.0	0.0	37.0	21.3	104.0	77.0	30.0	521.2
1979	58.1	104.6	31.0	84.1	8.0	4.5	11.0	5.4	93.4	69.6	39.0	3.5	512.2
1980	69.5	81.2	81.0	48.8	23.5	0.0	0.0	15.0	119.0	18.0	32.4	94.6	583.0
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	158.0	129.2	51.0	116.2	6.0	0.0	2.0	4.6	114.0	305.0	105.0	79.6	1070.6
1983	0.4	17.6	37.2	6.0	3.0	0.0	23.0	11.0	131.0	142.0	283.0	130.0	784.2
1984	6.0	98.0	27.0	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	68.0	43.0	105.0	267.0	644.0
1985	422.0	20.0	55.0	52.0	35.0	0.0	8.0	0.0	87.0	110.0	23.0	38.0	850.0
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1989	128.0	100.0	38.0	9.0	0.0	15.0	0.0	15.0	73.0	49.5	72.0	185.4	684.9
1990	168.6	0.0	0.0	65.0	60.0	0.0	0.0	51.0	11.0	60.0	205.0	198.0	818.6
1991	99.0	65.0	145.0	48.0	17.0	0.0	0.0	0.0	60.0	53.0	55.0	0.0	542.0
1992	260.0	20.0	12.0	0.0	125.0	22.0	0.0	35.0	10.0	15.0	0.0	267.0	766.0
1993	40.0	75.2	65.0	38.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	60.0	228.0	54.0	570.2
1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1995	84.4	19.2	35.6	17.6	16.8	0.0	0.8	50.4	124.4	19.6	79.6	177.4	625.8
1996	147.4	260.8	117.2	11.6	28.4	-	-	-	-	-	-	-	565.4
1997	0.0	0.0	71.6	39.2	9.2	3.6	0.0	140.6	109.8	231.0	134.6	41.0	780.6
1998	78.0	11.2	55.4	28.2	25.4	0.0	0.0	5.4	30.0	23.0	45.0	54.6	356.2
1999	40.8	20.8	33.4	6.8	3.6	0.0	52.6	49.0	85.2	13.4	234.2	166.4	706.2
2000	143.0	31.0	6.4	49.4	18.4	3.6	0.0	4.2	69.4	72.2	16.0	94.8	508.4
2001	91.6	14.2	16.8	12.6	9.6	0.4	0.0	0.0	0.0	0.6	-	108.6	254.4
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
media	97.1	61.4	56.0	49.5	28.0	9.1	13.8	24.6	63.5	103.1	73.1	103.6	682.9

Precipitazioni registrate nella stazione pluviografica di Monterosso (mm) (alt. 667 m s.m.m.) In corsivo dati mensili incompleti														
ANNO	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALE	
1960	139.0	52.4	133.2	64.8	37.8	9.4	0.0	0.0	4.0	14.5	19.4	160.2	634.7	
1961	123.2	20.6	49.6	22.0	15.6	11.4	0.0	31.0	54.8	27.4	62.2	56.6	474.4	
1962	27.0	42.8	67.4	16.0	1.0	8.6	0.0	3.0	3.0	125.6	50.6	57.8	402.8	
1963	59.5	61.5	36.6	28.6	42.6	17.4	35.0	5.0	36.6	63.6	11.6	126.2	524.2	
1964	135.2	39.8	43.4	61.8	54.8	37.8	60.0	26.2	28.0	56.2	40.6	186.2	770.0	
1965	139.0	81.4	26.6	54.2	2.0	0.0	0.0	39.2	38.0	223.8	37.4	71.2	712.8	
1966	83.2	34.0	106.0	121.0	68.4	2.2	2.2	0.0	72.2	114.8	97.6	40.0	741.6	
1967	104.4	128.8	46.0	42.0	6.2	0.0	43.8	1.8	20.8	26.6	60.6	91.2	572.2	
1968	157.2	50.6	27.8	11.4	13.8	34.8	8.2	0.0	22.4	50.8	48.2	149.8	575.0	
1969	102.6	61.8	108.0	4.4	19.0	0.0	12.8	24.8	352.0	82.8	58.0	207.0	1033.2	
1970	63.4	24.6	47.8	16.2	23.8	21.4	0.0	0.0	39.4	72.4	5.0	124.0	438.0	
1971	143.4	142.8	85.2	31.2	43.2	0.0	1.0	0.0	58.6	87.8	71.8	69.8	734.8	
1972	134.6	146.2	96.6	32.8	61.6	0.4	10.4	2.0	7.8	141.4	1.8	205.2	840.8	
1973	292.8	159.0	89.6	39.0	16.4	0.0	5.2	39.4	41.0	43.2	27.8	172.0	925.4	
1974	32.0	108.4	35.6	95.8	9.2	8.4	0.0	16.4	62.2	72.8	83.6	8.2	532.6	
1975	19.6	140.0	82.2	8.4	28.2	7.6	0.0	140.8	55.6	68.0	172.2	70.6	793.2	
1976	46.8	122.8	69.2	21.2	23.4	36.4	36.2	12.0	26.4	191.6	176.0	149.2	911.2	
1977	91.6	23.4	1.0	40.6	3.0	3.8	0.0	1.6	19.0	42.0	20.0	25.2	271.2	
1978	161.2	18.2	20.6	107.4	36.8	51.6	0.0	26.8	11.6	94.6	69.0	44.8	642.6	
1979	49.4	122.7	39.4	123.6	39.8	14.4	0.0	13.6	54.2	115.2	107.4	20.0	699.7	
1980	109.2	74.0	125.8	57.8	35.4	0.0	0.0	0.0	11.4	75.4	70.0	127.0	686.0	
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1982	278.6	152.8	120.8	83.8	34.8	10.0	1.6	0.4	29.8	145.8	151.4	112.6	1122.4	
1983	2.2	32.2	37.2	3.6	1.8	7.4	13.0	17.8	56.8	90.8	116.6	54.6	434.0	
1984	5.0	39.0	43.8	37.6	0.6	0.2	0.0	30.2	24.8	25.0	125.6	282.0	613.8	
1985	502.4	52.8	92.6	68.0	0.0	0.0	12.2	0.0	24.4	115.4	46.8	10.2	924.8	
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1989	48.4	101.2	24.0	20.2	22.6	21.0	24.4	70.0	16.2	107.4	72.0	114.2	641.6	
1990	135.6	16.4	15.6	71.2	53.0	1.0	0.6	40.2	3.6	32.2	54.0	147.4	570.8	
1991	93.2	69.6	24.0	40.2	15.2	4.2	0.0	35.6	57.6	76.6	47.0	146.4	609.6	
1992	354.6	20.8	41.2	39.2	98.2	26.4	26.4	44.8	48.8	32.6	8.0	158.8	899.8	
1993	24.4	33.8	39.4	21.6	59.8	0.0	0.0	4.0	19.2	67.4	138.2	150.2	558.0	
1994	83.6	57.6	6.2	47.8	17.4	19.0	58.6	4.4	36.4	114.4	67.2	68.8	581.4	
1995	39.6	25.4	36.6	25.2	29.4	0.0	2.0	18.0	70.2	15.8	140.8	136.4	539.4	
1996	145.2	197.8	106.6	30.6	29.0	33.6	6.6	14.2	40.6	109.4	39.6	180.4	933.6	
1997	77.2	32.4	62.2	42.6	18.6	5.6	0.0	91.2	43.4	238.8	132.4	58.6	803.0	
1998	32.2	16.8	69.2	64.2	16.8	0.0	0.0	47.6	58.0	23.2	60.8	57.0	445.8	
1999	80.2	28.0	30.0	6.0	1.6	0.2	43.4	20.4	115.0	5.8	218.8	133.0	682.4	
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2002	61.6	37.8	33.4	47.0	16.8	2.8	29.0	8.0	18.0	0.4	111.8	58.8	425.4	
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
media	112.9	69.5	57.3	44.6	27.0	10.7	11.7	22.4	45.5	80.9	76.3	109.0	667.6	

precipitazioni registrate nella stazione pluviografica di Chiamonte (mm) (alt. 680 m s.m.m.). In corsivo dati mensili incompleti													
ANNO	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALE
1960	150.6	55.9	126.1	96.3	60.3	24.5	0.0	0.0	5.5	23.8	28.1	201.2	772.3
1961	131.2	38.6	50.0	68.0	7.6	9.5	64.7	15.0	46.8	19.7	58.0	43.6	552.7
1962	30.9	57.0	78.1	20.6	1.5	52.7	0.0	26.9	12.5	140.1	57.0	62.3	539.6
1963	72.6	21.0	13.2	60.5	60.5	24.8	92.9	3.0	111.5	93.6	17.6	124.4	695.6
1964	142.3	53.1	46.2	230.6	60.7	15.6	23.3	43.7	31.9	29.2	71.3	232.9	980.8
1965	136.6	84.7	37.7	36.9	3.7	0.0	0.0	62.9	9.0	218.3	39.6	84.8	714.2
1966	24.7	25.0	64.9	40.9	92.0	0.0	0.0	0.0	100.8	134.7	70.7	27.9	581.6
1967	45.6	124.9	23.9	24.3	16.3	0.0	1.9	12.7	24.7	58.2	42.9	78.0	453.4
1968	187.1	69.4	36.0	16.2	22.4	42.5	0.0	0.3	63.4	35.5	54.7	129.0	656.5
1969	105.8	46.8	130.0	23.3	15.7	0.0	5.9	10.1	51.9	29.8	56.5	175.0	650.8
1970	64.9	22.0	52.6	14.5	21.9	18.2	0.0	0.0	27.7	99.9	6.4	117.9	446.0
1971	117.7	147.2	62.2	22.9	42.4	0.8	1.4	0.0	36.6	76.0	73.1	58.3	638.6
1972	117.6	139.8	59.8	38.3	25.7	0.0	5.1	2.9	7.1	101.1	0.0	168.1	665.5
1973	219.0	151.0	134.4	41.4	17.3	0.0	7.2	26.4	43.4	46.7	20.6	179.0	886.4
1974	25.2	86.4	49.6	67.4	13.8	0.0	0.0	17.8	34.6	78.4	119.8	16.4	509.4
1975	20.2	201.6	107.0	22.2	52.8	4.4	0.0	186.4	12.0	123.4	223.2	99.0	1052.2
1976	61.8	210.6	101.4	44.2	34.4	97.6	2.4	11.8	48.4	350.4	328.8	189.2	1481.0
1977	125.8	25.0	1.0	43.6	3.8	10.2	0.2	0.6	79.8	34.6	66.4	33.0	424.0
1978	210.0	37.6	34.4	160.2	76.6	27.8	0.4	14.2	16.8	157.0	177.6	102.6	1015.2
1979	93.2	169.8	53.0	116.8	29.4	25.0	1.4	12.4	129.2	150.0	136.8	26.2	943.2
1980	116.6	109.0	153.8	79.8	28.2	0.6	0.0	0.0	29.8	52.6	82.8	165.8	819.0
1981	117.2	83.4	0.8	34.0	4.6	0.6	0.0	8.2	50.6	18.6	56.6	108.2	482.8
1982	206.0	200.4	92.6	119.2	39.8	1.4	6.2	0.6	64.4	176.8	246.8	183.6	1337.8
1983	4.0	41.8	43.0	0.2	8.4	5.6	31.4	2.0	98.6	121.2	162.2	74.8	593.2
1984	39.8	67.4	55.2	27.6	0.0	0.8	0.0	4.0	88.8	40.8	90.6	230.2	645.2
1985	370.0	63.6	85.2	51.0	19.6	0.6	7.6	0.0	14.4	64.4	81.6	13.2	771.2
1986	70.4	117.6	153.9	6.0	1.6	1.4	4.2	19.6	59.2	186.0	328.6	138.4	1086.9
1987	65.6	61.2	109.6	24.8	35.4	0.2	8.0	0.0	10.4	11.6	17.6	32.8	377.2
1988	89.4	62.8	107.8	33.0	0.2	2.0	0.0	63.8	101.0	13.0	51.4	99.0	623.4
1989	45.4	116.0	43.4	46.4	22.0	3.0	4.2	29.8	30.4	164.4	81.2	111.2	697.4
1990	158.4	42.4	19.0	107.6	76.6	0.0	2.6	0.0	35.2	29.4	21.8	138.6	631.6
1991	47.0	35.0	20.0	33.0	27.8	3.4	0.0	57.6	54.6	66.8	43.8	75.8	464.8
1992	379.2	12.8	17.0	31.0	50.2	4.4	30.4	52.6	54.6	43.2	7.4	173.4	856.2
1993	36.0	24.6	62.0	12.2	81.6	0.0	0.0	7.4	20.4	83.0	-	133.4	460.6
1994	97.2	27.8	4.8	9.4	0.0	2.8	0.2	0.0	3.2	33.2	108.8	70.8	358.2
1995	37.0	27.6	64.4	33.6	42.4	0.0	0.2	20.4	77.0	29.6	111.6	153.0	596.8
1996	168.0	294.8	175.4	40.6	35.8	39.6	60.6	19.4	30.0	104.8	65.4	179.8	1214.2
1997	102.0	28.8	82.0	42.0	20.4	7.8	0.0	89.0	91.4	195.0	146.8	63.0	868.2
1998	37.4	18.0	87.0	64.4	41.4	0.0	0.0	20.8	65.2	30.4	53.8	71.8	490.2
1999	57.6	36.4	58.0	7.2	10.4	0.8	6.0	8.2	99.2	10.2	243.6	179.0	716.6
2000	160.8	19.4	2.0	57.6	14.4	2.8	0.0	0.0	23.8	80.6	60.2	116.6	538.2
2001	168.2	21.6	6.0	37.4	37.4	3.8	0.0	22.8	2.0	8.4	44.8	40.6	393.0
2002	48.8	25.2	31.6	30.2	31.8	1.6	1.8	26.8	49.2	48.8	110.6	64.4	470.8
2003	128.8	70.0	50.2	101.0	4.8	65.4	0.0	18.6	79.4	68.2	84.6	148.6	819.6
2004	39.0	7.2	35.6	112.6	19.2	6.0	4.4	0.0	66.0	32.2	137.2	220.0	679.4
2005	64.0	112.8	27.6	76.6	24.0	59.4	0.2	21.8	26.2	34.8	47.0	210.0	704.4
2006	161.4	126.8	16.0	29.0	1.0	36.8	77.4	10.0	22.6	67.4	63.6	183.6	795.6
2007	5.8	24.4	28.2	58.4	25.8	32.6	0.0	0.0	0.4	20.4	57.4	175.0	428.4
2008	34.0	26.0	56.0	42.6	24.4	46.6	0.6	0.0	57.2	42.0	13.0	191.2	533.6
media	104.9	74.9	60.2	51.8	28.3	14.0	9.2	19.4	46.9	79.1	89.0	120.3	698.0

Precipitazioni registrate nella stazione pluviografica di Grammichele (mm) (alt. 526 m s.m.m.). In corsivo dati mensili incompleti													
ANNO	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALE
1960	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0
1961	83.0	23.4	34.4	15.2	9.2	16.4	8.8	1.4	16.4	3.0	42.8	43.8	297.8
1962	16.5	29.4	81.4	36.8	1.4	14.0	0.0	8.4	5.0	124.6	56.8	36.6	410.9
1963	48.6	74.0	38.2	41.2	40.0	39.4	83.6	24.6	59.8	61.2	16.0	74.2	600.8
1964	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1965	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1966	58.2	2.4	71.0	103.2	88.8	0.8	0.4	0.0	-	-	-	27.6	352.4
1967	52.6	112.4	29.2	20.0	14.4	3.0	36.2	7.2	21.0	11.8	36.0	76.4	420.2
1968	48.8	32.2	18.0	11.2	20.2	6.4	0.4	0.0	19.4	48.6	37.4	88.4	331.0
1969	60.8	26.4	83.4	5.2	27.4	0.2	6.2	9.2	299.0	89.4	18.2	106.2	731.6
1970	35.8	18.8	56.0	3.0	11.6	0.0	0.0	0.0	8.0	1.8	1.2	75.2	211.4
1971	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1972	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1973	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1974	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1975	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1976	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1977	97.2	36.0	4.6	58.6	7.0	6.6	0.2	3.4	55.4	4.6	24.6	14.2	312.4
1978	117.4	24.0	31.0	135.2	47.8	34.8	0.2	12.4	8.2	34.0	131.0	40.0	616.0
1979	88.6	123.0	42.6	118.8	24.4	1.8	0.0	0.0	63.8	108.4	98.0	1.0	670.4
1980	18.4	72.4	83.0	30.0	25.4	0.6	0.0	0.0	24.6	13.6	85.8	91.2	445.0
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	144.0	29.4	26.6	46.4	19.8	12.8	5.2	28.0	69.8	131.6	155.0	96.6	765.2
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1991	53.0	35.4	29.6	31.0	0.0	0.0	0.0	10.2	121.0	102.8	54.0	108.6	545.6
1992	162.8	6.2	16.6	26.0	64.2	68.2	15.8	55.4	137.2	43.0	8.0	135.8	739.2
1993	29.8	26.0	30.4	8.8	28.4	0.0	0.0	0.0	24.4	73.2	128.6	99.4	449.0
1994	45.4	32.4	6.0	38.0	7.8	19.6	72.6	1.2	38.6	87.0	81.0	37.4	467.0
1995	48.6	29.4	44.0	20.0	8.6	0.4	33.0	63.2	44.4	5.6	113.4	111.2	521.8
1996	102.2	176.0	57.2	23.0	22.4	63.4	24.2	6.2	32.0	70.6	12.8	99.8	689.8
1997	48.0	8.2	41.6	33.4	19.6	6.4	0.0	34.8	77.4	139.8	102.4	37.6	549.2
1998	32.8	16.4	35.0	16.4	23.2	0.0	0.0	10.0	33.6	38.2	32.8	33.4	271.8
1999	38.2	21.8	40.6	7.0	1.6	0.0	8.0	33.8	100.8	6.6	187.2	121.2	566.8
2000	111.6	14.8	3.6	61.4	39.2	0.2	0.0	4.4	41.4	66.8	43.8	101.4	488.6
2001	102.8	28.8	17.6	25.8	49.2	0.0	0.0	52.8	0.0	19.6	40.8	28.6	366.0
2002	63.6	29.8	21.8	40.6	33.2	3.0	26.6	17.2	52.2	50.4	61.0	45.4	444.8
2003	119.2	50.0	32.8	75.0	17.2	81.4	0.0	17.0	145.6	113.6	76.8	102.4	831.0
2004	33.0	10.2	39.4	121.4	24.0	0.2	42.2	0.0	38.8	21.2	210.6	149.2	690.2
2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
media	68.9	40.3	37.6	42.7	25.0	14.1	13.5	14.8	59.1	56.6	71.4	73.4	517.5

precipitazioni registrate nella stazione pluviografica di Chiamonte (mm) (alt. 680 m s.m.). In corsivo dati mensili incompleti													
ANNO	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	TOTALE
1960	150.6	55.9	126.1	96.3	60.3	24.5	0.0	0.0	5.5	23.8	28.1	201.2	772.3
1961	131.2	38.6	50.0	68.0	7.6	9.5	64.7	15.0	46.8	19.7	58.0	43.6	552.7
1962	30.9	57.0	78.1	20.6	1.5	52.7	0.0	26.9	12.5	140.1	57.0	62.3	539.6
1963	72.6	21.0	13.2	60.5	60.5	24.8	92.9	3.0	111.5	93.6	17.6	124.4	695.6
1964	142.3	53.1	46.2	230.6	60.7	15.6	23.3	43.7	31.9	29.2	71.3	232.9	980.8
1965	136.6	84.7	37.7	36.9	3.7	0.0	0.0	62.9	9.0	218.3	39.6	84.8	714.2
1966	24.7	25.0	64.9	40.9	92.0	0.0	0.0	0.0	100.8	134.7	70.7	27.9	581.6
1967	45.6	124.9	23.9	24.3	16.3	0.0	1.9	12.7	24.7	58.2	42.9	78.0	453.4
1968	187.1	69.4	36.0	16.2	22.4	42.5	0.0	0.3	63.4	35.5	54.7	129.0	656.5
1969	105.8	46.8	130.0	23.3	15.7	0.0	5.9	10.1	51.9	29.8	56.5	175.0	650.8
1970	64.9	22.0	52.6	14.5	21.9	18.2	0.0	0.0	27.7	99.9	6.4	117.9	446.0
1971	117.7	147.2	62.2	22.9	42.4	0.8	1.4	0.0	36.6	76.0	73.1	58.3	638.6
1972	117.6	139.8	59.8	38.3	25.7	0.0	5.1	2.9	7.1	101.1	0.0	168.1	665.5
1973	219.0	151.0	134.4	41.4	17.3	0.0	7.2	26.4	43.4	46.7	20.6	179.0	886.4
1974	25.2	86.4	49.6	67.4	13.8	0.0	0.0	17.8	34.6	78.4	119.8	16.4	509.4
1975	20.2	201.6	107.0	22.2	52.8	4.4	0.0	186.4	12.0	123.4	223.2	99.0	1052.2
1976	61.8	210.6	101.4	44.2	34.4	97.6	2.4	11.8	48.4	350.4	328.8	189.2	1481.0
1977	125.8	25.0	1.0	43.6	3.8	10.2	0.2	0.6	79.8	34.6	66.4	33.0	424.0
1978	210.0	37.6	34.4	160.2	76.6	27.8	0.4	14.2	16.8	157.0	177.6	102.6	1015.2
1979	93.2	169.8	53.0	116.8	29.4	25.0	1.4	12.4	129.2	150.0	136.8	26.2	943.2
1980	116.6	109.0	153.8	79.8	28.2	0.6	0.0	0.0	29.8	52.6	82.8	165.8	819.0
1981	117.2	83.4	0.8	34.0	4.6	0.6	0.0	8.2	50.6	18.6	56.6	108.2	482.8
1982	206.0	200.4	92.6	119.2	39.8	1.4	6.2	0.6	64.4	176.8	246.8	183.6	1337.8
1983	4.0	41.8	43.0	0.2	8.4	5.6	31.4	2.0	98.6	121.2	162.2	74.8	593.2
1984	39.8	67.4	55.2	27.6	0.0	0.8	0.0	4.0	88.8	40.8	90.6	230.2	645.2
1985	370.0	63.6	85.2	51.0	19.6	0.6	7.6	0.0	14.4	64.4	81.6	13.2	771.2
1986	70.4	117.6	153.9	6.0	1.6	1.4	4.2	19.6	59.2	186.0	328.6	138.4	1086.9
1987	65.6	61.2	109.6	24.8	35.4	0.2	8.0	0.0	10.4	11.6	17.6	32.8	377.2
1988	89.4	62.8	107.8	33.0	0.2	2.0	0.0	63.8	101.0	13.0	51.4	99.0	623.4
1989	45.4	116.0	43.4	46.4	22.0	3.0	4.2	29.8	30.4	164.4	81.2	111.2	697.4
1990	158.4	42.4	19.0	107.6	76.6	0.0	2.6	0.0	35.2	29.4	21.8	138.6	631.6
1991	47.0	35.0	20.0	33.0	27.8	3.4	0.0	57.6	54.6	66.8	43.8	75.8	464.8
1992	379.2	12.8	17.0	31.0	50.2	4.4	30.4	52.6	54.6	43.2	7.4	173.4	856.2
1993	36.0	24.6	62.0	12.2	81.6	0.0	0.0	7.4	20.4	83.0	-	133.4	460.6
1994	97.2	27.8	4.8	9.4	0.0	2.8	0.2	0.0	3.2	33.2	108.8	70.8	358.2
1995	37.0	27.6	64.4	33.6	42.4	0.0	0.2	20.4	77.0	29.6	111.6	153.0	596.8
1996	168.0	294.8	175.4	40.6	35.8	39.6	60.6	19.4	30.0	104.8	65.4	179.8	1214.2
1997	102.0	28.8	82.0	42.0	20.4	7.8	0.0	89.0	91.4	195.0	146.8	63.0	868.2
1998	37.4	18.0	87.0	64.4	41.4	0.0	0.0	20.8	65.2	30.4	53.8	71.8	490.2
1999	57.6	36.4	58.0	7.2	10.4	0.8	6.0	8.2	99.2	10.2	243.6	179.0	716.6
2000	160.8	19.4	2.0	57.6	14.4	2.8	0.0	0.0	23.8	80.6	60.2	116.6	538.2
2001	168.2	21.6	6.0	37.4	37.4	3.8	0.0	22.8	2.0	8.4	44.8	40.6	393.0
2002	48.8	25.2	31.6	30.2	31.8	1.6	1.8	26.8	49.2	48.8	110.6	64.4	470.8
2003	128.8	70.0	50.2	101.0	4.8	65.4	0.0	18.6	79.4	68.2	84.6	148.6	819.6
2004	39.0	7.2	35.6	112.6	19.2	6.0	4.4	0.0	66.0	32.2	137.2	220.0	679.4
2005	64.0	112.8	27.6	76.6	24.0	59.4	0.2	21.8	26.2	34.8	47.0	210.0	704.4
2006	161.4	126.8	16.0	29.0	1.0	36.8	77.4	10.0	22.6	67.4	63.6	183.6	795.6
2007	5.8	24.4	28.2	58.4	25.8	32.6	0.0	0.0	0.4	20.4	57.4	175.0	428.4
2008	34.0	26.0	56.0	42.6	24.4	46.6	0.6	0.0	57.2	42.0	13.0	191.2	533.6
media	104.9	74.9	60.2	51.8	28.3	14.0	9.2	19.4	46.9	79.1	89.0	120.3	698.0

APPENDICE G
Deflussi registrati nel bacino Ragoletto

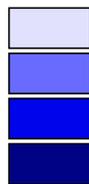
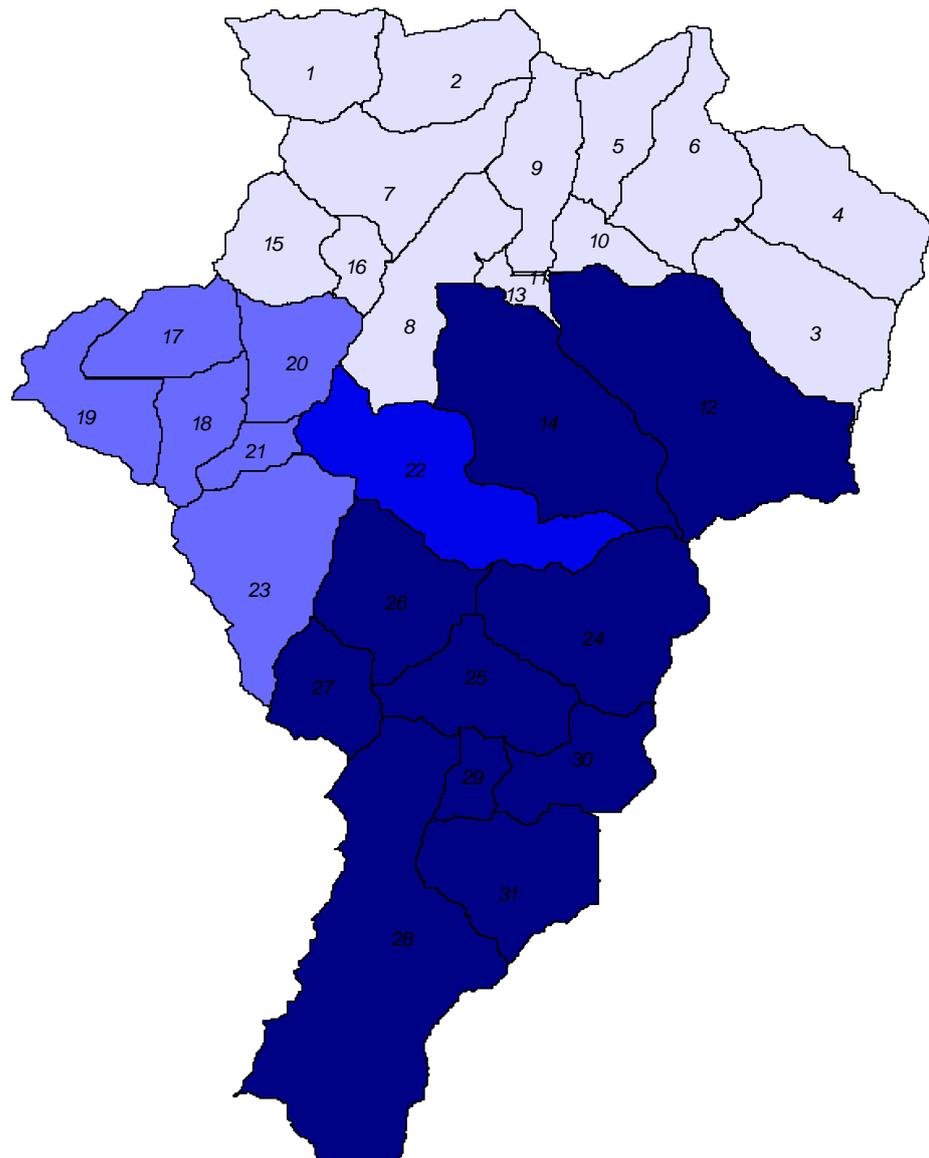
DEFLUSSI REGISTRATI NEL BACINO RAGOLETO

(superficie 117,5 km²; altitudine media 578 m s.m.m.; altitudine massima 986 m s.m.m.; valori di deflusso in mm)

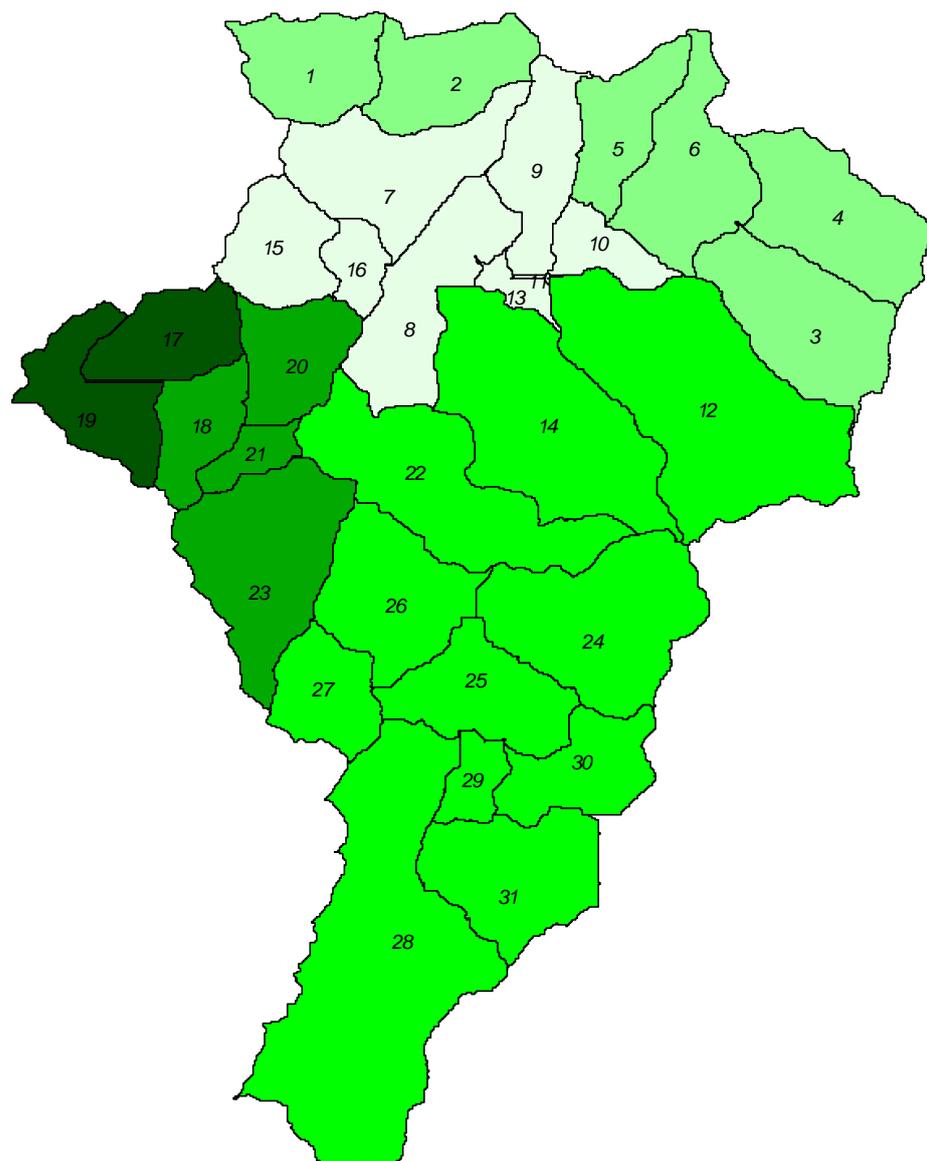
anno	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	totale
1980	11.89	11.75	19.72	10.60	5.69	8.70	2.07	-0.02	3.04	-0.02	3.45	4.71	81.58
1981	6.16	5.60	5.57	3.06	0.52	5.76	1.14	0.91	4.54	2.50	2.95	4.71	43.42
1982	42.08	33.44	30.74	13.42	7.08	1.29	8.15	-0.02	2.05	3.18	12.21	18.77	172.39
1983	19.74	5.40	6.13	3.47	0.37	4.51	1.51	0.00	3.72	2.14	6.26	12.50	65.75
1984	5.69	8.49	8.03	5.69	0.42	4.71	2.93	-0.03	6.31	-0.92	50.28	4.29	95.89
1985	358.26	132.62	12.79	22.74	8.76	9.77	7.20	0.69	1.72	-0.03	3.40	2.25	560.17
1986	2.04	5.63	8.41	0.73	-0.04	1.97	2.11	0.91	4.47	3.93	62.77	27.87	120.80
1987	21.13	20.71	6.97	7.46	7.64	3.97	6.31	2.15	3.49	-0.04	1.23	2.26	83.28
1988	2.16	1.72	4.18	1.65	0.23	0.00	0.03	0.94	0.84	0.65	3.30	5.16	20.86
1989	6.41	15.57	3.51	1.46	0.66	1.02	0.37	0.37	0.66	1.19	1.81	7.92	40.97
1990	20.01	6.75	3.87	3.78	3.64	0.93	1.19	1.56	0.00	1.86	6.50	23.03	73.11
1991	21.06	19.94	13.80	9.06	4.26	2.52	1.15	1.51	3.58	1.75	2.05	19.48	100.17
1992	160.86	28.31	8.97	6.08	7.50	0.00	6.95	6.61	3.93	3.66	2.45	12.03	247.36
1993	9.40	4.83	9.19	4.20	5.23	1.54	0.20	1.74	0.60	2.13	9.11	29.51	77.69
1994	20.48	13.72	6.89	4.88	4.10	1.90	1.51	1.58	1.66	3.06	3.23	4.48	67.48
1995	7.27	4.85	4.08	2.98	2.29	1.48	0.63	0.00	3.17	1.44	5.10	18.83	52.11
1996	41.29	83.33	158.94	16.54	9.29	8.46	8.72	3.26	1.19	4.82	3.87	16.82	356.52
1997	19.29	10.84	11.72	6.65	5.55	1.79	0.49	1.43	1.96	17.91	28.53	21.03	127.17
1998	15.04	20.39	7.92	7.17	6.64	6.72	0.75	1.23	1.25	1.53	2.41	3.23	74.27
1999	4.77	3.92	3.86	2.58	1.60	0.60	0.38	0.49	4.92	1.59	7.07	39.40	71.18
2000	44.20	12.56	6.48	5.19	3.97	0.96	0.60	0.79	0.94	5.52	3.91	6.13	91.25
2001	25.97	15.05	8.50	4.29	2.02	1.57	0.87	1.54	1.35	0.51	1.27	1.86	64.80
2002	3.16	3.04	2.12	1.94	1.86	1.10	0.68	1.00	2.60	1.60	2.02	2.67	23.79
2003	11.55	9.24	5.98	10.09	3.11	1.92	0.77	0.40	12.54	3.82	10.15	23.77	93.34
2004	14.47	5.06	4.08	10.59	4.98	1.97	1.86	0.41	0.87	2.09	26.83	51.73	124.94
2005	91.89	123.76	54.01	7.69	3.23	4.23	4.60	3.43	3.79	4.10	3.07	29.75	333.55
2006	79.91	698.43	6.05	7.52	4.17	3.83	6.21	1.86	1.40	3.59	3.94	30.11	847.04
2007	7.95	4.57	205.63	7.91	5.51	1.74	1.35	0.74	0.49	0.81	0.77	13.63	251.09
2008	18.89	5.14	5.57	5.67	2.88	0.83	0.59	0.36	2.80	2.71	3.57	30.73	79.72
MEDIE	37.69	45.33	21.85	6.73	3.90	2.96	2.46	1.24	2.76	2.66	9.43	16.16	153.16

APPENDICE H

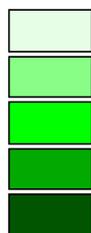
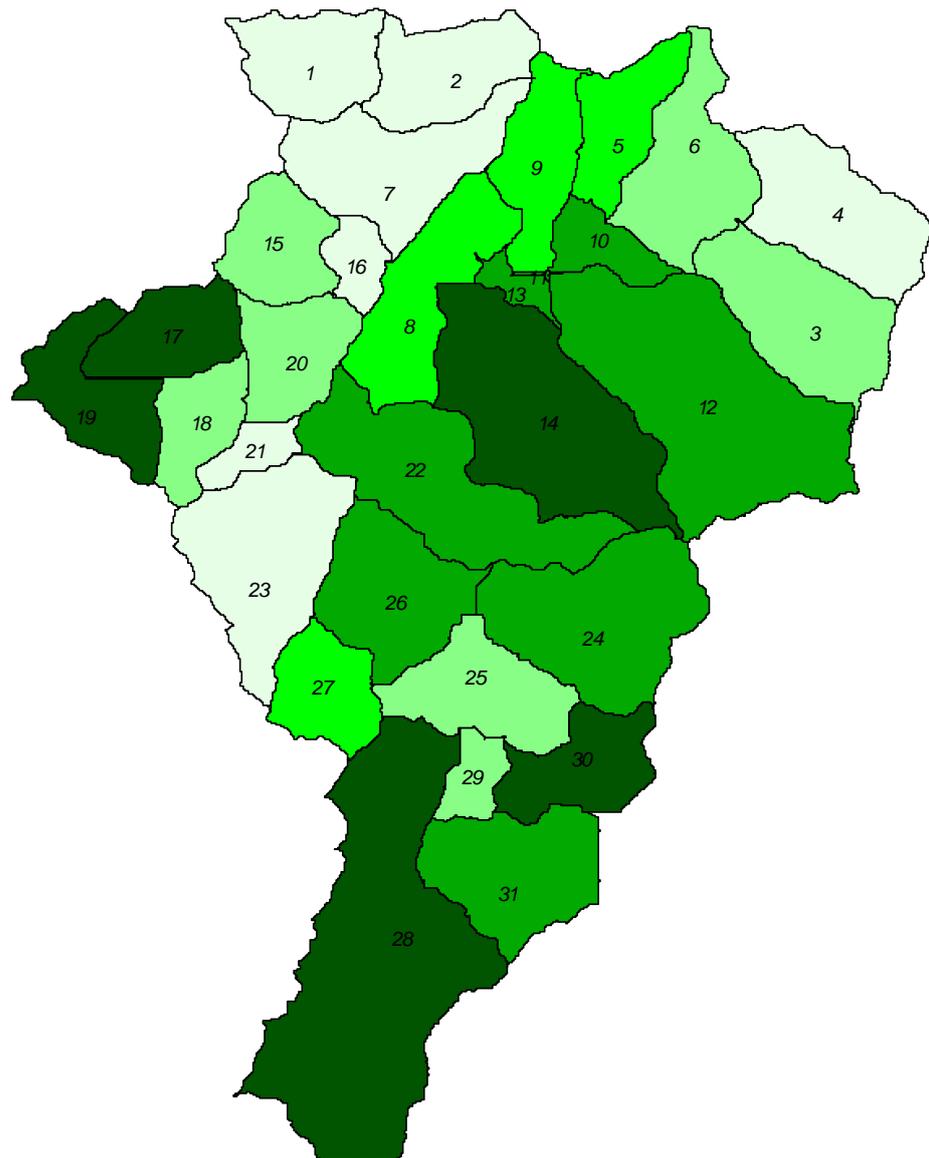
Valori medi dei parametri relativi al bilancio idrologico del bacino di alimentazione del serbatoio Ragoletto generati dal modello SWAT a scala di sottobacino per il periodo 1960-2008



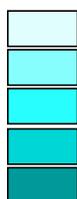
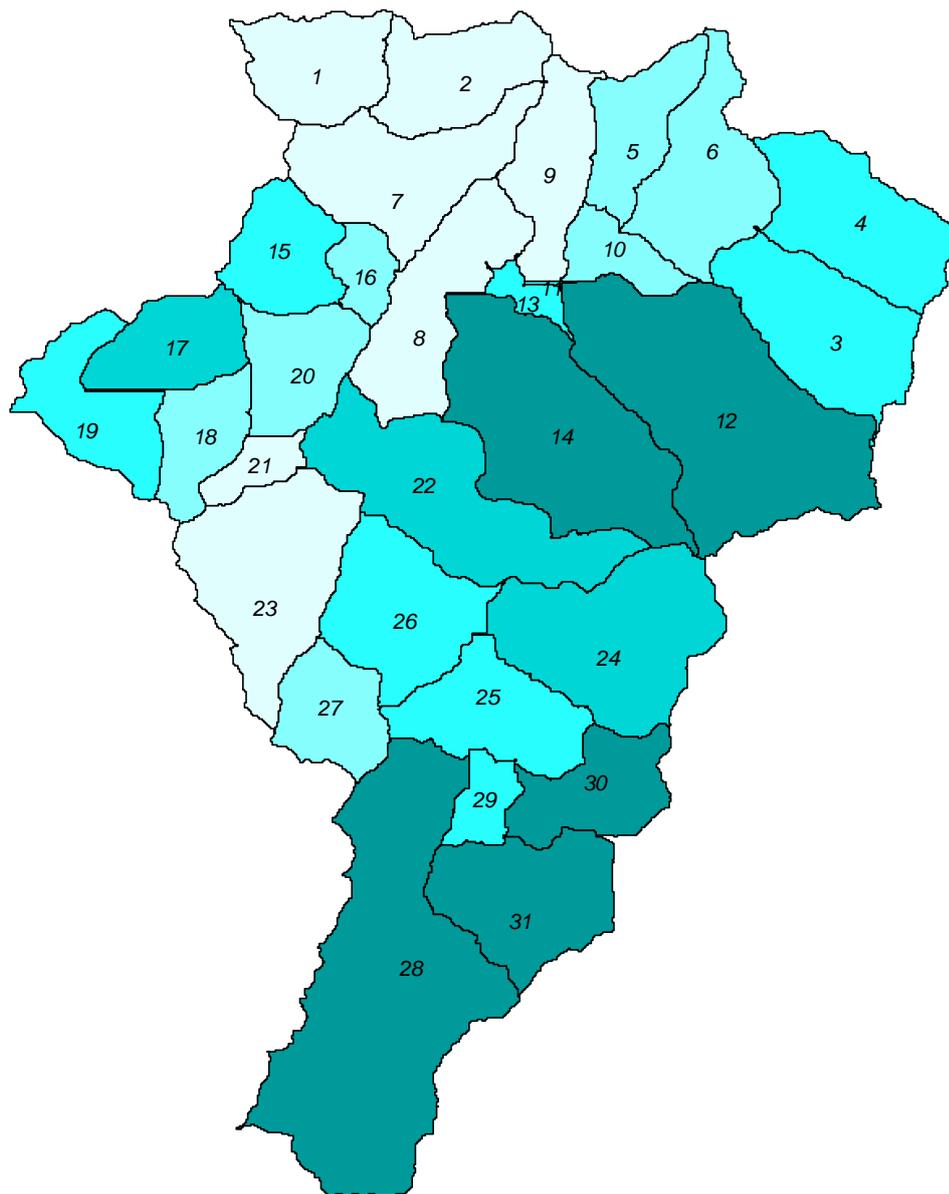
Valori di precipitazione media annua (mm) simulati da SWAT per i diversi sottobacini nel periodo 1960-2008



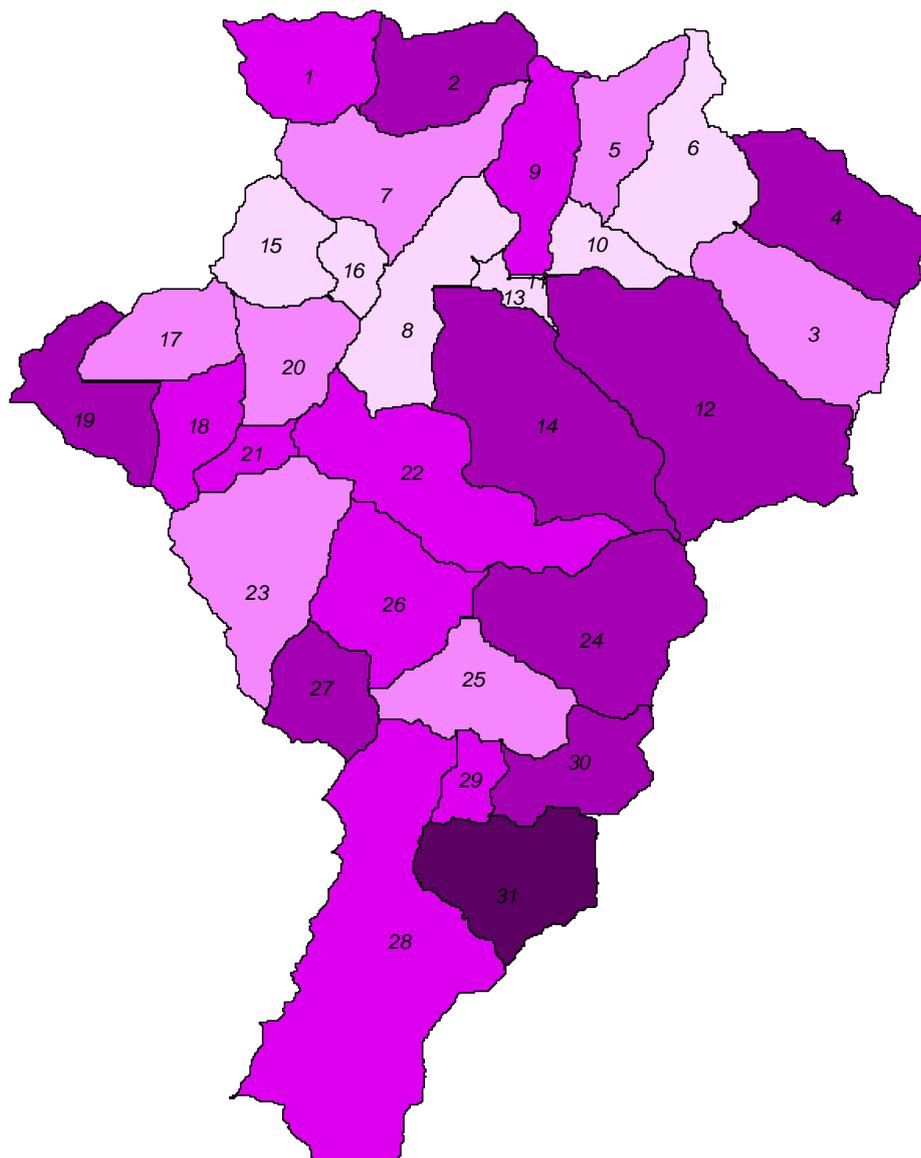
Valori di evapotraspirazione potenziale media annua (mm) simulati da SWAT per i diversi sottobacini nel periodo 1960-2008



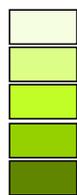
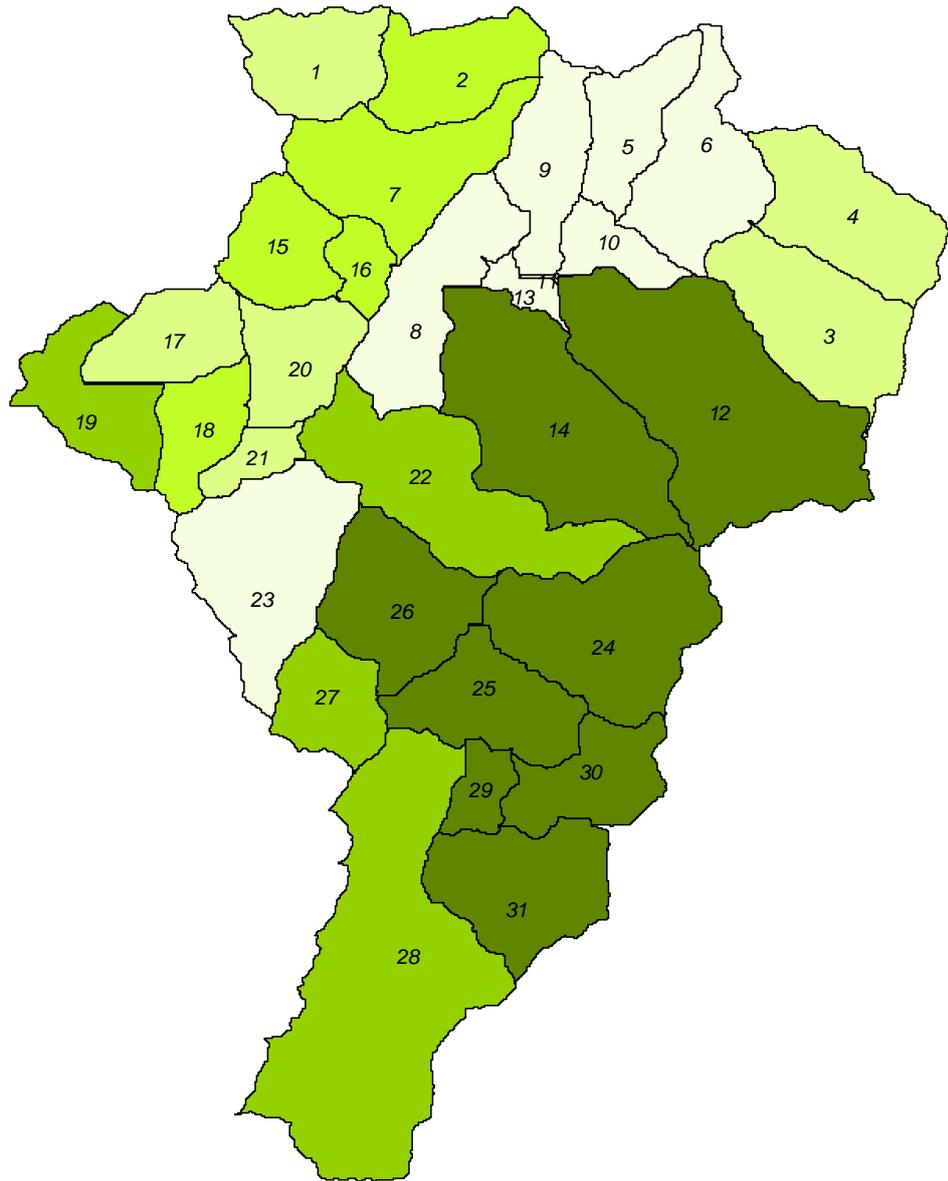
Valori di evapotraspirazione effettiva media annua (mm) simulati da SWAT per i diversi sottobacini nel periodo 1960-2008



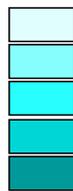
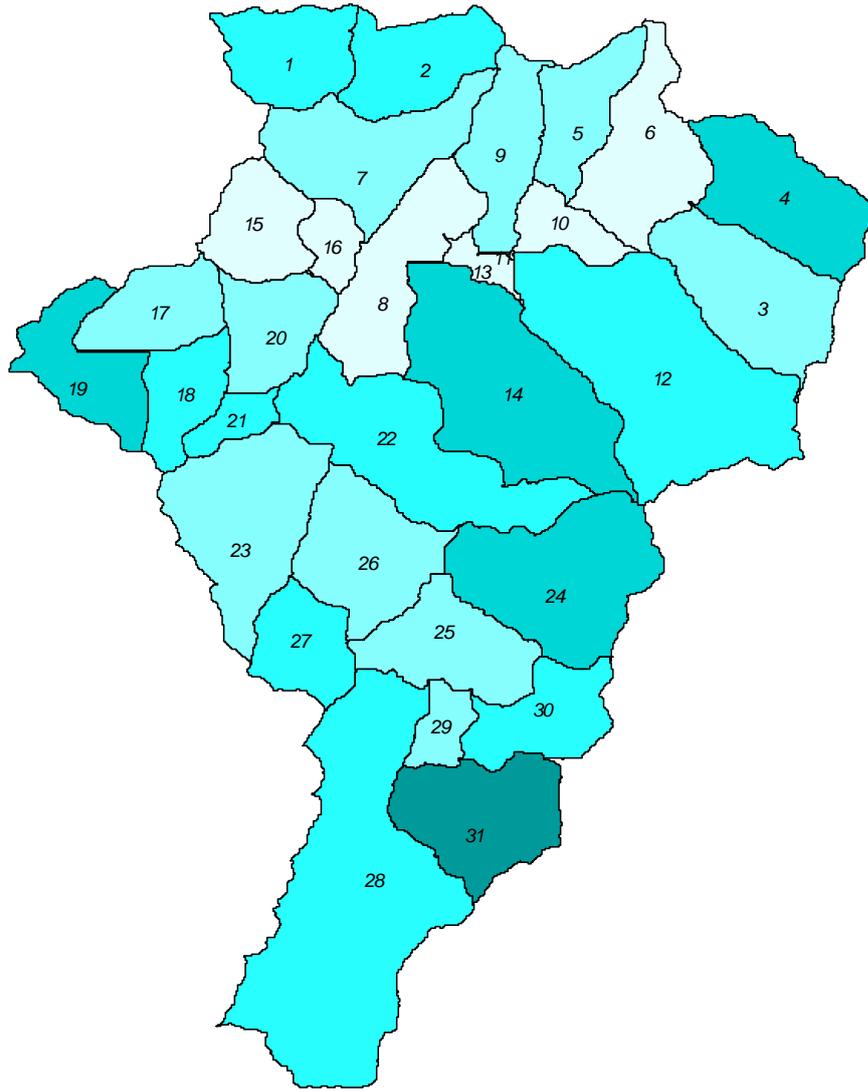
Valori di contenuto di acqua del terreno medio annuo (mm) simulati da SWAT per i diversi sottobacini nel periodo 1960-2008



Valori di acqua di infiltrazione media annua (mm) simulati da SWAT per i diversi sottobacini nel periodo 1960-2008



Valori di deflusso superficiale medio annuo (mm) simulati da SWAT per i diversi sottobacini nel periodo 1960-2008



Valori di deflusso sottosuperficiale che raggiunge il canale medio annuo (mm) simulati da SWAT per i diversi sottobacini nel periodo 1960-2008