



## AUTORITA' DI BACINO REGIONALE SINISTRA SELE

Via A. Sabatini, 3-84121 Salerno-tel.089.236922-fax.0892582774



### Progetto di Piano Stralcio Erosione Costiera

Ai sensi dell'art. 17 commi 1 e 6 della Legge 18 maggio 1989 n. 183 s.m.i. e Legge 4 dicembre 1993 n. 493

TAV: REL. 4

### RELAZIONE SPECIALISTICA "Criteri adottati per la stima dell'apporto solido al litorale"



Redatto da:

#### Segreteria Tecnica Operativa:

Dr. geol. Aniello Aloia (*aspetti geologici e siti campioni coste alte*)  
Dr. geol. Saverio Maietta  
Dr. geol. Filomena Moretta (*aspetti geologici e siti campioni coste alte- informatizzazione*)

Ing. Elisabetta Romano  
Ing. Manlio Mugnani (*attività di pianificazione idraulico fluviali*)  
Ing. M.Patrizia Positano

Arch. Antonio Tedesco (*vulnerabilità ed informatizzazione - GIS-*)  
Arch. Carlo Banco (*aspetti antropici e norme di salvaguardia*)  
Arch. Vincenzo Andreola

Dr. Vincenzo Liguori  
Dr. Angelo Padovano (*rapporti con Enti, conferenze programmatiche ed aspetti amministrativi*)

Rag. Antonio Farina (*supporto tecnico-amministrativo*)  
Geom. Giuseppe Taddeo

Il Responsabile del Procedimento:  
Ing. Raffaele Doto

#### Consulenti e Responsabili Scientifici:

Prof. geol. Paolo Budetta (geologia)  
Prof. ing. Domenico Pianese (idraulica fluviale)  
Prof. ing. Mario Calabrese (idraulica marittima)  
Prof. avv. Vincenzo Pepe (aspetti giuridici)

Il Segretario Generale  
ing. Carlo Camilleri

Data: settembre 2005

# INDICE

1. PREMESSA.....	Pag. 3
2. L'APPORTO SOLIDO DAI BACINI IDROGRAFICI.....	Pag. 3
3. PRINCIPALI CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DEI BACINI STUDIATI.....	Pag. 6
3.1 BACINO DEL FIUME ALENTO.....	Pag. 7
3.2 BACINO DELL'ALTO BUSSENTO.....	Pag. 7
3.3 BACINO DEL BASSO BUSSENTO.....	Pag. 8
3.4 BACINO DEL TORRENTE CACAFAVA.....	Pag. 8
3.5 BACINO DEL TORRENTE FIUMARELLA.....	Pag. 8
3.6 BACINO DEL FIUME LAMBRO.....	Pag. 8
3.7 BACINO DEL TORRENTE MANGANO.....	Pag. 9
3.8 BACINO DEL FIUME MINGARDO.....	Pag. 9
3.9 BACINO DEL FIUME SOLOFRONE.....	Pag. 10
3.10 BACINO DEL FIUME TESTENE.....	Pag. 10
3.11 BACINI MINORI TRA AGROPOLI E CASALVELINO.....	Pag. 11
3.12 BACINI MINORI DEL GOLFO DI PISCIOTTA.....	Pag. 11
3.13 BACINI MINORI DELLA ZONA DI ISPANI.....	Pag. 11
3.14 BACINI MINORI DEL GOLFO DI POLICASTRO.....	Pag. 11
4. VALUTAZIONE DELL'APPORTO SOLIDO.....	Pag. 12
5. STIMA DEI MATERIALI SOLIDI PRELEVATI.....	Pag. 16
5.1 PRELIEVI IN ALVEO.....	Pag. 16
5.2 STIMA DEI QUANTITATIVI DI MATERIALE SOLIDO SOTTRATTI DAGLI SBARRAMENTI.....	Pag. 19
6. ULTERIORI APPROCCI DISPONIBILI PER LA VALUTAZIONE DELL'APPORTO SOLIDO A LIVELLO DI BACINO (CFR RELAZIONE SPECIALISTICA IDRAULICA FLUVIALE)	Pag. 21
6.1 I MODELLI RUSLE E USPED.....	Pag. 21
6.2 L'EROSIONE QUALE FENOMENO MODELLANTE DEL TERRENO.....	Pag. 22

7. FATTORI CHE INFLUENZANO L'EROSIONE DEI SUOLI.....	Pag. 23
7.1 CLIMA.....	Pag. 23
7.2 ESPOSIZIONE.....	Pag. 23
7.3 INCLINAZIONE.....	Pag. 24
7.4 PROCESSI FISICI E CHIMICI.....	Pag. 24
7. 5 FATTORI ANTROPICI.....	Pag. 24
8.DESCRIZIONE DEL MODELLO SPAZIALE DI EROSIONE E APPORTO SOLIDO USPED.....	Pag. 24
8.1 BREVE DESCRIZIONE DEL MODELLO USPED.....	Pag. 24
8.2 DATI NECESSARI PER L'APPLICAZIONE DEL MODELLO USPED.....	Pag. 25
9.RISULTATI OTTENUTI.....	Pag. 28
BIBLIOGRAFIA.....	Pag. 28
APPENDICE 1.....	Pag. 29

## 1. PREMESSA

La presente Relazione illustra, nell'ambito del Piano stralcio per l'erosione costiera, i principali aspetti di analisi geomorfica quantitativa e di apporto solido dai bacini idrografici con foce al litorale, nell'area di pertinenza dell'Autorità di bacino Sinistra Sele. A tale scopo, vengono presentate le metodologie adoperate per il calcolo dell'apporto solido e i criteri redazionali utilizzati per l'allestimento delle relative Carte (Carta **dell'analisi geomorfica** quantitativa dei bacini idrografici e Carta **dell'erosione del suolo**).

La valutazione dell'apporto solido al litorale e delle relazioni complesse tra materiali erosi, trasporto solido ed interferenze con le attività e gli interventi antropici costituiscono, infatti, elementi di fondamentale importanza ai fini della comprensione della dinamica complessa dei processi erosivi lungo le coste. In questa sede verranno illustrate le risultanze scaturite da questo studio che, come è possibile valutare a pieno, è di fondamentale importanza anche per la conoscenza dell'intera dinamica fluviale nell'area di pertinenza dell'Autorità di Bacino.

## 2. L' APPORTO SOLIDO DAI BACINI IDROGRAFICI

Come noto, le modalità di trasporto dei materiali erosi e presi in carico dai corsi d'acqua, sono diverse ma riconducibili essenzialmente a: trasporto *in sospensione* (o anche "trasporto torbido"), *in soluzione* nelle acque e *per trascinamento* sul fondo. Per quanto riguarda quest'ultima modalità, bisogna tener presente che, nel corso del fenomeno di trascinamento al fondo nel canale, vi è sempre una "discontinuità" nel tempo e nello spazio che rende, di fatto, problematica la quantificazione con metodi empirici, se non accompagnata dall'osservazione diretta e da rilievi in sito che ne guidino l'interpretazione. E' evidente, infatti, che sullo sviluppo del fenomeno incidono fortemente la variabilità temporale delle portate liquide (e, quindi, delle velocità della corrente e degli sforzi di trascinamento), le dimensioni granulometriche dei clasti e la loro forma, a loro volta funzione dalle caratteristiche petrografiche e mineralogiche delle rocce costituenti i bacini idrografici e della distanza dai siti di produzione. Le caratteristiche granulometriche e di forma dei clasti ne condizionano, a parità di velocità della corrente e degli sforzi di trascinamento, la rimovibilità e quindi la possibilità di inizio del moto ed il successivo trascinamento.

Analoghe incertezze si incontrano nella valutazione empirica del trasporto in soluzione, dal momento che occorrono dati sperimentali, ottenuti mediante analisi ripetute nel tempo sulle quantità effettivamente solubilizzate. I sali disciolti venendo a contatto con l'acqua marina, di norma presente alle foci dei fiumi, vanno soggetti a processi di flocculazione in conseguenza della formazione del cosiddetto "cuneo salino" e, quindi, sedimentano allo sbocco dei corsi d'acqua. I

materiali che ne derivano, tuttavia, per le loro caratteristiche granulometriche, non si prestano ad un efficace e duraturo ripascimento degli arenili.

E' evidente che la possibilità di disporre di dati relativi all'apporto solido totale porterebbe ad una valutazione dell'entità dei processi erosivi più aderente alla situazione reale; attualmente però, si può disporre di sistemi di misura che permettono una valutazione quantitativa soltanto del **trasporto torbido**. La sola disponibilità di questi dati pone senza dubbio dei limiti alla significatività stessa di tale parametro quale misura rigorosa dei processi erosivi fluviali. Si deve comunque considerare che, quand'anche fosse possibile misurare direttamente la quantità di materiali portati in soluzione e per trascinamento sul fondo si potrebbe disporre di una valutazione più precisa del trasporto integrale operato, in determinate sezioni, ma sempre approssimata dell'entità dell'erosione in atto nei bacini idrografici. A queste misure infatti sfuggirebbero comunque i materiali presi in carico dai fiumi ma ridepositati a monte delle sezioni di misura di interesse; materiali che sono anch'essi il prodotto dei processi di erosione legati all'azione delle acque correnti.

Pur riconoscendo le limitazioni insite nella scelta del parametro trasporto torbido quale indice dell'intensità dei processi erosivi, va sottolineato però che i dati ad esso relativi sono gli unici attualmente disponibili su vasta scala e di conseguenza i più ampiamente usati quale termine di confronto nello studio del problema dell'erosione idrometrica e dei fattori che ne controllano la variazione di intensità.

I dati relativi al trasporto torbido, rilevati dall'ex SIMI (Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale) e riportati nella seconda parte degli Annali Idrologici, riguardano in particolare: la "*portata torbida*" che si esprime in kg/s e rappresenta la quantità in peso dei materiali in sospensione passanti per una data sezione fluviale, nell'unità di tempo; il "*deflusso torbido*", cioè la quantità (espressa in tonnellate) di materiale trasportato in un dato intervallo di tempo (ad esempio un anno); la "*turbidità specifica*", che si esprime in  $\text{kg/m}^3$  e rappresenta il rapporto tra i valori della portata torbida e di quella liquida, misurate contemporaneamente alla stessa stazione; il "*deflusso torbido unitario*" che viene espresso in  $\text{tonn/km}^2$  e rappresenta la quantità di materiale trasportato in sospensione per unità di superficie del bacino, sotteso da una data stazione di misura.

Di queste misure, nel presente Rapporto, è stata presa in esame il *Deflusso torbido unitario medio annuo* (*Tu*) che può fornire delle indicazioni sul grado di erodibilità dei terreni affioranti nei bacini idrografici, poiché esso è l'espressione della degradazione specifica; essendo un valore riferito all'unità di superficie, cioè indipendente dall'ampiezza totale del bacino di drenaggio. In tal senso, questa grandezza, consente dei confronti anche tra bacini idrografici di diversa estensione.

In definitiva quindi, nella determinazione dell'apporto solido da parte dei corsi d'acqua, è prassi consolidata riferirsi preliminarmente al *trasporto torbido* per il quale, talora, sono disponibili dati sperimentali, come nel caso di bacini attrezzati con stazioni torbiometriche. Laddove queste mancano, come nel caso dei fiumi ricadenti nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Sinistra Sele, si può far riferimento a metodi empirici ormai ampiamente consolidati in Letteratura scientifica, che sono fondati sulla valutazione dell'apporto solido medio annuo dal bacino.

Tali metodi, di volta in volta, prendono in considerazione - singolarmente o in associazione - le caratteristiche idrologiche (piogge), quelle morfologiche, litologiche, di copertura vegetale e di uso del suolo dei bacini idrografici, nonché le pendenze dei versanti. Senza entrare nei dettagli sulle metodologie esistenti, si precisa che, in questa sede, per rapidità di analisi e di confronto, si è preferito utilizzare, in luogo di altri metodi potenzialmente più accurati ma più complicati da gestire (quali quelli basati sull'USLE - Universal Soil Loss Equation – adottato negli Stati Uniti dal Soil Conservation Service, RUSLE, etc –), un metodo empirico di calcolo basato sull'analisi geomorfica quantitativa e derivato dal Lavoro di Ciccacci et alii, 1989. Tale analisi è stata per prima introdotta da Horton (...) ed ha portato all'inserimento di elementi numerici nel campo della Geomorfologia.

I parametri principali che vengono utilizzati in quest'analisi, possono essere raggruppati nelle seguenti categorie:

- 1) lunghezza e proprietà geometriche del reticolo idrografico;
- 2) forma ed area del bacino;
- 3) relazioni tra il reticolo idrografico e l'area del bacino;
- 4) caratteristiche morfologiche del bacino.

Per gli scopi connessi alla valutazione del trasporto torbido, vengono di solito presi in esame alcuni parametri rientranti nella terza categoria prima citata: si tratta, in particolare: della "*densità di drenaggio*", del "*gradiente medio di pendio*" dei segmenti fluviali e di alcuni parametri espressivi della "*gerarchizzazione*", cioè del grado di organizzazione dei reticoli fluviali.

La **densità di drenaggio** (D) viene definita come il rapporto tra la lunghezza complessiva delle aste fluviali di un bacino e l'area di quest'ultimo. Si tratta di un parametro abbastanza sintetico ed efficace; difatti, il suo valore è legato al regime e all'intensità delle precipitazioni ed anche alle altre condizioni climatiche. Inoltre, esso è funzione della permeabilità e dell'erosibilità dei terreni affioranti: più precisamente, la densità di drenaggio è tanto maggiore quanto minore è la permeabilità e quanto maggiore è l'erosibilità delle rocce su cui è impostato il reticolo idrografico, e può quindi essere considerato come espressione delle caratteristiche litologiche e del grado di tettonizzazione dell'area in esame. Inoltre la densità di drenaggio è chiaramente legata alla copertura

vegetale; il suo valore può infine modificarsi, anche se con un certo ritardo ed in maniera generalmente limitata, per effetto di interventi antropici.

Il **gradiente medio di pendio** (  $\tau$  ) dei canali fluviali viene definito come rapporto tra il dislivello dei punti estremi e la lunghezza lineare di ogni segmento fluviale. La scelta di questo parametro è stata suggerita soprattutto dalla considerazione che esso rende conto della velocità e quindi dell'energia che le acque fluviali possiedono in dipendenza diretta dei dislivelli e delle lunghezze dei canali in cui scorrono. Di conseguenza, il gradiente medio di pendio influenza direttamente la competenza e la capacità di trasporto dei corsi d'acqua ed inoltre mette in evidenza i processi erosivi legati ad eventuali fenomeni di ringiovanimento del reticolo, che potrebbero sfuggire considerando solo l'acclività media del bacino. E' evidente che a gradienti medi di pendio più elevati dovrebbero corrispondere, a parità di altre considerazioni, maggiori quantità di materiali solidi trasportati nei relativi bacini. Inoltre questo parametro può essere calcolato anche per aree parziali di uno stesso bacino idrografico. Quindi una volta noti gli eventuali legami esistenti tra gradienti di pendio e trasporto solido, esso consente di fare delle considerazioni, anche se approssimate, su quello che dovrebbe essere il contributo di aree unitarie al trasporto solido totale del bacino in esame.

Le correlazioni più comuni che legano il trasporto torbido ( $Tu = \text{deflusso torbido unitario}$ , espresso in  $\text{tonn/km}^2$ ) alla densità di drenaggio, sono le seguenti:

$$\log Tu = 0,35312 D + 1,43225 \quad (1)$$

che si è dimostrata valida nel casi di bacini con valori della densità di drenaggio  $D$  minore di 6. Per valori di  $D > 6$  è stata proposta, invece, la seguente relazione:

$$\log Tu = 2,93936 \log D + 1,13430 \quad (2)$$

In questo caso, infatti, ad un aumento della  $D$  non corrisponde un aumento esponenziale del  $Tu$ , come avviene invece con la relazione precedente. Da ultimo, le relazioni che legano il trasporto torbido alla densità di drenaggio ed al gradiente medio di pendio dei segmenti fluviali, sono:

$$\log Tu = 0,32474 D + 0,00794 \tau + 1,43206 \quad (3)$$

che si è dimostrata valida nel casi di bacini con valori della densità di drenaggio  $D$  minore di 6. Per valori di  $D > 6$  è stata proposta, invece, la seguente relazione:

$$\log Tu = 2,74540 D + 0,00639 \tau + 1,15548 \quad (4)$$

### 3. PRINCIPALI CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DEI BACINI STUDIATI

Allo scopo di quantizzare, in modo puntuale, l'apporto torbido potenziale proveniente dai 14 principali bacini o gruppi di bacini idrografici con foce al litorale di interesse, sono state analizzate, dettagliatamente, le loro caratteristiche geomorfologiche, litologiche e di erodibilità, qui di seguito

descritte. Al fine di dettagliare ulteriormente i risultati, i singoli bacini sono stati suddivisi in sottobacini (per un totale di 123), seguendo i criteri di delimitazione già adoperati dall'Autorità di bacino Sinistra Sele, relativamente agli elaborati del Piano Stralcio per il rischio idraulico. L'analisi è stata condotta su basi cartografiche in scala 1/25.000, che si allegano al presente Rapporto.

### **3.1 Bacino del Fiume Alento**

Ha una superficie di circa 410 km<sup>2</sup>, presenta forma allungata in direzione E-O ed un coefficiente medio di forma ( $c_f$ ) = 0.18. La lunghezza complessiva dei corsi d'acqua che lo drenano è di circa 37,7 km. Convoglia verso mare le acque che scaturiscono ai piedi della dorsale calcarea di Magliano e di Monteforte Cilento. Lo spartiacque raggiunge le quote maggiori sul lato settentrionale (dell'ordine dei 1100 m) mentre, verso ovest, si attesta su quote massime dell'ordine dei 1000. I rilievi più elevati, situati nella parte settentrionale, hanno composizione calcarea; a sud sono presenti le Argille Varicolori e la formazione del flysch del Cilento, a composizione prevalentemente arenacea. Il reticolo idrografico presenta corsi d'acqua principali che raggiungono al massimo il 3° e 4° ordine; si compone di circa 26 sottobacini con densità di drenaggio variabile tra un minimo di 1,65 ed un massimo di 5,06 Km<sup>-1</sup>.

L'assetto litologico vede l'ampia diffusione di terreni arenaceo – conglomeratici (circa il 41 % dell'area totale) e di argilliti e marne del flysch del Cilento (36 %); in subordine si rinvencono i depositi alluvionali antichi e recenti (circa il 10 %). La diffusa presenza di terreni flyschoidi, facilmente erodibili e con proprietà meccaniche scadenti favorisce l'erosione e l'insorgere di movimenti franosi. L'erosione è intensa soprattutto dove i corsi d'acqua presentano pendenze elevate e cioè nella fascia altimetrica che va dai 550 ai 350 m; i corsi d'acqua, e prevalentemente quelli di ordine inferiore e pendenza più elevata, sono in accentuata erosione. Il suolo eroso, in media annua, si attesta intorno a valori di circa 0,3 mm/anno. Nel bacino dell'Alento ricadono i principali sbarramenti artificiali gestiti dal Consorzio di Bonifica di Velia (il principale dei quali è l'invaso di Piano della Rocca).

### **3.2 Bacino dell'Alto Bussento**

Ha una superficie di circa 78,6 km<sup>2</sup>, presenta forma molto allungata ed un coefficiente medio di forma ( $c_f$ ) molto basso. Verso nord, lo spartiacque raggiunge quote dell'ordine degli 800 m, mentre, verso ovest, si attesta su quote massime dell'ordine dei 600 m. I rilievi più elevati, situati nella parte settentrionale, hanno composizione calcarea; a sud sono presenti le formazioni del flysch del Cilento. L'intero bacino è suddiviso in 7 sottobacini con densità di drenaggio generalmente molto bassa (massima 2,48 Km<sup>-1</sup>). Ciò è dovuto soprattutto all'ampia diffusione di rocce calcaree e dolomitiche che occupano circa il 44 % dell'intera superficie. Seguono quindi i terreni flyschoidi



(argilliti, marne e marne arenacee) che occupano circa il 38 % dell'intero bacino; il rimanente è costituito da depositi alluvionali antichi e recenti.

La diffusa presenza di rocce lapidee non facilita i processi erosivi malgrado le pendenze dei corsi d'acqua siano generalmente elevate. Il suolo eroso, in media annua, si attesta intorno a valori di circa 0,06 mm/anno.

### **3.3 Bacino del Basso Bussento**

Ha una superficie di circa 236 km<sup>2</sup>, presenta anch'esso forma allungata ed un coefficiente medio di forma molto basso, prossimo a 0. Lo spartiacque raggiunge le quote maggiori verso oriente (dell'ordine dei 1000 m) mentre, verso nord, si attesta su quote massime di 500 metri circa. Si compone di circa 19 sottobacini con densità di drenaggio variabile tra un minimo di 1,75 ed un massimo di 4,12 Km<sup>-1</sup>. I gradienti medi di pendio delle aste fluviali variano tra 0,31 e 0,072.

L'assetto litologico vede la diffusione di rocce calcareo-dolomitiche (circa 42 %), ma i terreni in facies di flysch occupano buona parte della superficie del bacino (circa il 55 %) La presenza più diffusa di terreni flyschoidi, rispetto al limitrofo bacino dell'Alto Bussento, rende ragione di una maggiore erodibilità, con suolo eroso, in media annua, che si attesta intorno a valori di circa 0,11 mm/anno.

### **3.4 Bacino del Torrente Cocafava**

Ha una superficie di circa 22,1 km<sup>2</sup>, e si compone di 3 sottobacini. La densità di drenaggio media è pari a 3,50 Km<sup>-1</sup>; il gradiente medio di pendio vale 0,18. I terreni affioranti sono essenzialmente flyschoidi con ampia diffusione di argilliti, marne, arenarie; ciò rende particolarmente elevata l'erodibilità da parte delle acque superficiali. Il suolo eroso, in media annua, si attesta intorno a valori di circa 0,27 mm/anno.

### **3.5 Bacino del Torrente Fiumarella**

Ha una superficie di circa 45,2 km<sup>2</sup>, e si compone anch'esso di 3 sottobacini. La densità di drenaggio è molto alta (circa 4,50 Km<sup>-1</sup>) e così pure il gradiente medio di pendio che raggiunge massimi di 0,29. Questi parametri, in una con l'ampia diffusione di terreni in facies di flysch comportano un'elevata erodibilità all'interno del bacino; il suolo eroso, in media annua, si attesta intorno a valori di circa 0,39 mm/anno.

### **3.6 Bacino del Fiume Lambro**

Ha una superficie di circa 77 km<sup>2</sup>, con un coefficiente di forma che denuncia un assetto morfologico non particolarmente allungato ( $c_f = 0,25$ ). Le quote più elevate, dell'ordine dei 1560 metri, si raggiungono verso nord in corrispondenza di Monte Scuro; verso ovest lo spartiacque corre lungo una serie di colline con quote medie dell'ordine dei 790 metri, mentre verso oriente si raggiungono quote di circa 500 metri. Nel tratto inferiore del corso d'acqua, in sinistra idrografica, si rinvencono le prime propaggini calcaree del massiccio del Monte Bulgheria. Il bacino del Lambro è suddivisibile in 6 sottobacini con densità di drenaggio variabile tra un minimo di 2,75 ed un massimo di 4,11 Km<sup>-1</sup>; i gradienti medi di pendio delle aste fluviali variano tra 0,11 e 0,31.

L'intero bacino è in massima parte impostato sui terreni flyschoidi del Cilento (formazioni di Ascea e Crete Nere); solo nel tratto inferiore sono presenti depositi sabbiosi plio-quaternari e calcarei. L'elevata densità di drenaggio e i gradienti di pendio, unitamente alla presenza di formazioni prevalentemente arenaceo – argillose, comportano un'erodibilità medio – alta, con suolo eroso, in media annua, che si attesta intorno a valori di circa 0,22 mm/anno.

### **3.7 Bacino del Torrente Mangano**

Si tratta di un bacino idrografico piuttosto piccolo (superficie di circa 7 km<sup>2</sup>) che si compone anch'esso di 3 soli sottobacini. La densità di drenaggio è mediamente molto bassa (circa 1,86 Km<sup>-1</sup>) mentre la pendenza dei canali principali è invece elevata (fino a 0,83). L'intero bacino ricade nei terreni del flysch del Cilento. Il suolo eroso, in media annua, si attesta intorno a valori di circa 0,054 mm/anno.

### **3.8 Bacino del Fiume Mingardo**

Ha una superficie di circa 224 km<sup>2</sup> e presenta anch'esso forma allungata in direzione N-S, con un coefficiente medio di forma ( $c_f$ ) = 0.14. Drena verso mare le acque che scaturiscono dalla dorsale montuosa dello Scanno del Tesoro – Monte Rotondo – M. Raia del pedale; verso settentrione, lo spartiacque raggiunge quote dell'ordine dei 1670 metri, così pure verso oriente ove si attesta su quote di circa 1350 metri. La foce ricade in prossimità dell'Arco naturale di Palinuro, nel golfo posto a nord- est del Capo Palinuro. I rilievi più elevati, situati nella parte settentrionale, hanno composizione calcarea. I terreni flyschoidi (argilliti, marne e calcari siliciferi) occupano circa il 39,5 % della superficie complessiva, seguiti da terreni prevalentemente arenacei e conglomeratici (21,4 %) e dai calcari di piattaforma carbonatico (13 %). Le restanti superfici sono occupate da depositi alluvionali recenti ed antichi terrazzati. L'intero bacino è suddivisibile in 10 sottobacini con densità di drenaggio variabile tra 2,66 e 3,97Km<sup>-1</sup>. I gradienti medi di pendio raggiungono valori massimi dell'ordine di 0,36.

La diffusa presenza di terreni flyschoidi, facilmente erodibili e con proprietà meccaniche scadenti favorisce, anche in questo caso, l'erosione e l'innescare di movimenti franosi. L'erosione è intensa soprattutto dove i corsi d'acqua presentano pendenze elevate. Il suolo eroso, in media annua, si attesta intorno a valori di circa 0,14 mm/anno.

### **3.9 Bacino del Fiume Solofrone**

Ha una superficie di circa 80 km<sup>2</sup>, presenta una forma molto raccolta (coefficiente di forma = 0,05). L'intero bacino occupa rilievi collinari con spartiacque che solo verso nord – est raggiungono quote dell'ordine dei 600 metri. Si compone di 8 sottobacini con densità di drenaggio variabile tra un minimo di 1,74 ed un massimo di 4,55 Km<sup>-1</sup>. I gradienti medi di pendio delle aste fluviali raggiungono valori massimi di 0,33.

L'assetto litologico vede l'ampia diffusione di terreni in facies di flysch (arenarie, marne, argille e calcari marnosi) che occupano buona parte della superficie del bacino (circa il 60 %); seguono quindi i calcari che affiorano unicamente in corrispondenza della dorsale montuosa di Monte Sottano (14 %). La restante parte del bacino è occupata da depositi alluvionali e detriti di falda. L'erodibilità non appare particolarmente elevata a causa dei modesti valori di densità di drenaggio e di pendenza delle aste fluviali. Il suolo eroso, in media annua, si attesta intorno a valori di circa 0,081 mm/anno.

### **3.10 Bacino del Fiume Testene**

Ha una superficie di circa 66 km<sup>2</sup>, ed anch'esso presenta una forma piuttosto raccolta (coefficiente di forma = 0,07). L'intero bacino è impostato su rilievi collinari ove lo spartiacque raggiunge le quote maggiori verso sud (dell'ordine dei 1000 m) mentre, verso est, si attesta su quote di 400 metri circa. Si compone di circa 10 sottobacini con densità di drenaggio variabile tra un minimo di 1,61 ed un massimo di 2,95 Km<sup>-1</sup>. I gradienti medi di pendio delle aste fluviali variano tra 0,094 e 0,23.

L'assetto litologico vede l'ampia diffusione di terreni in facies di flysch (circa 80 %) costituiti da arenarie grossolane, marne, argilliti; la restante parte del bacino è occupata da depositi alluvionali recenti ed antichi. La presenza diffusa di terreni flyschoidi, sebbene i gradienti di pendio e la densità di drenaggio siano bassi, rende ragione di una erodibilità media, con suolo eroso che si attesta intorno a valori di circa 0,11 mm/anno.

### **3.11 Bacini minori tra Agropoli e Casalvelino**

Si tratta di numerosi bacini (circa 18), generalmente di ridotte dimensioni, con foce al litorale nel tratto compreso tra Agropoli e Casalvelino. Nella loro totalità, essi occupano una superficie di circa 100 km<sup>2</sup>. La loro densità di drenaggio raggiunge punte massime di 5,87 Km<sup>-1</sup>; il gradiente medio di pendio è anch'esso variabile con punte massime di 0,38. I bacini in questione sono per lo più impostati nei terreni essenzialmente flyschiodi del Cilento. Ciò rende l'erosività particolarmente elevata; il suolo eroso, in media annua per l'intero sistema di sottobacini, si attesta intorno a valori di circa 0,38 mm/anno.

### **3.12 Bacini minori del Golfo di Pisciotta**

Nel golfo di Pisciotta hanno foce al litorale 6 piccoli bacini che, nella loro totalità, occupano una superficie di 25 km<sup>2</sup>. La loro densità di drenaggio, più bassa rispetto a quelli di cui al paragrafo 3.11, raggiunge punte massime di 3,58 Km<sup>-1</sup>; il gradiente medio di pendio invece punte massime di 0,32. Anche in questo caso, i bacini in questione sono impostati nei terreni essenzialmente flyschiodi del Cilento. L'erosività, non particolarmente elevata, riflette i bassi valori di densità di drenaggio e gradiente di pendio. Il suolo eroso, in media annua per l'intero sistema di sottobacini, si attesta intorno a valori di circa 0,135 mm/anno.

### **3.13 Bacini minori della zona di Ispani**

Nella zona di Ispani hanno foce al litorale 5 bacini con una superficie complessiva di 10 km<sup>2</sup>. La loro densità di drenaggio è piuttosto variabile da caso a caso con valore massimo di 5,2 Km<sup>-1</sup>; il gradiente medio di pendio invece raggiunge un massimo di 0,32. L'erosività globale è piuttosto elevata stante l'ampia presenza di terreni flyschoidi; il suolo eroso, in media annua per l'intero sistema di sottobacini, si attesta intorno a valori di circa 0,249 mm/anno.

### **3.14 Bacini minori del Golfo di Policastro**

Nel golfo di Policastro sboccano tre bacini (Castellaro, Serriere e Soranna) che occupano una superficie complessiva di 9km<sup>2</sup>. La loro densità di drenaggio è piuttosto variabile da caso a caso con valore massimo di 5,2 Km<sup>-1</sup>(Castellaro). Tutti e tre i bacini sono impostati sui terreni del flysch del Cilento. L'erosività dei terreni affioranti è piuttosto attiva; il suolo eroso, in media annua per l'intero sistema di sottobacini, si attesta intorno a valori di circa 0,256 mm/anno.

#### 4. VALUTAZIONE DELL'APPORTO SOLIDO MEDIANTE IL CRITERIO DI CICCACCI

L'apporto solido potenziale al litorale, è stato calcolato per ciascuno dei 123 sottobacini sopra descritti, utilizzando – di volta in volta, a seconda dei valori di densità di drenaggio e di gradiente medio di pendio – le relazioni da (1) a (4) (Tabelle a-b).

Come è possibile rilevare, la densità di drenaggio è risultata compresa nell'intervallo tra 1,61 e 5,67  $\text{Km}^{-1}$ ; la distribuzione percentuale, per classi, dei valori di densità di drenaggio è rappresentata nella figura 1.

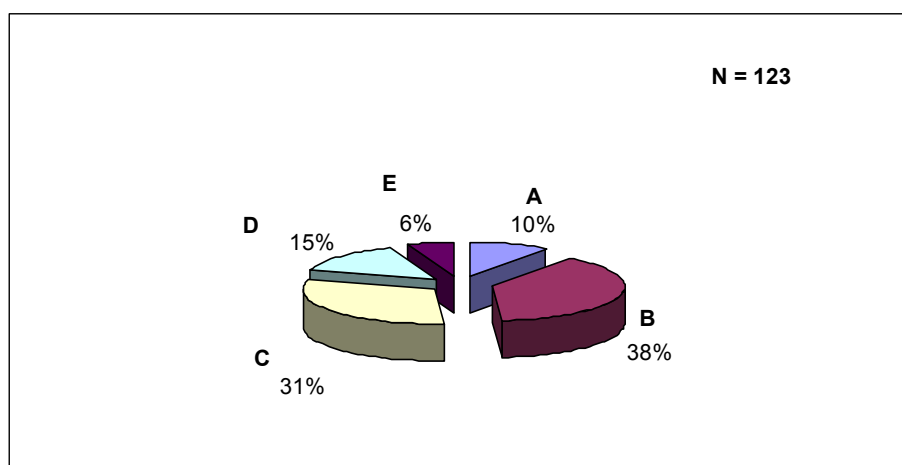


Fig. 1: Distribuzione percentuale, per classi, dei valori di densità di drenaggio (D) dei bacini studiati. Legenda: A) densità di drenaggio < 2,00; B) compresa tra 2,00 e 3,00; C) compresa tra 3,01 e 4,00; D) compresa tra 4,01 e 5,00; E) densità di drenaggio > 5,00.

Per quanto concerne invece i gradienti di pendio delle aste fluviali, le medie dei valori relativi ai 123 bacini analizzati, coprono un intervallo di variazione compreso tra 4 e 38 % ( $3^\circ$  -  $20^\circ$ ), con media del 22% ( $12^\circ$ ). La distribuzione percentuale, per classi, dei valori dei gradienti di pendio è rappresentata nella successiva figura 2.

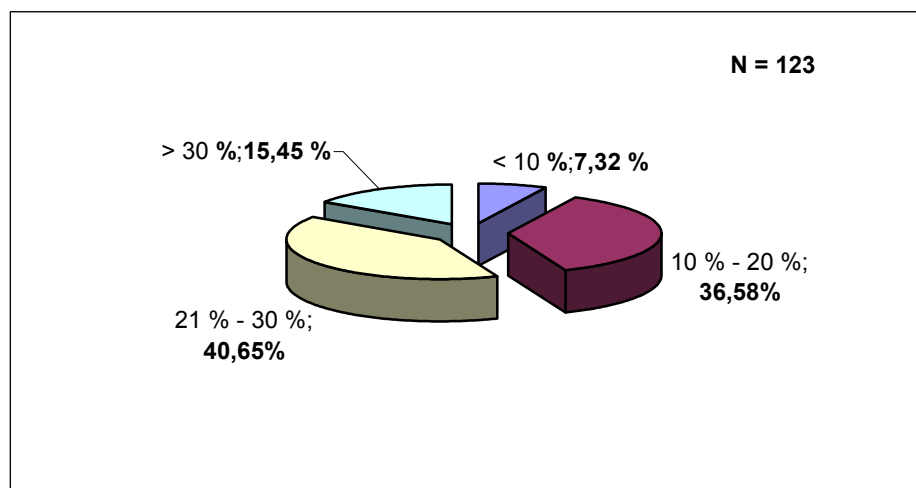


Fig. 2: Distribuzione percentuale, per classi, dei valori dei gradienti medi di pendio ( $\tau$ ) delle aste fluviali dei 123 sottobacini studiati.

Sulla base dei più opportuni valori di (D) e ( $\tau$ ), il trasporto torbido unitario è stato ricavato mediante le relazioni (1) e (3), assumendo infine, quale valore rappresentativo dei sottobacini analizzati, quello dato dalla media dei 2 valori calcolati.

Adottando quindi, per i terreni più superficiali presenti sui versanti, un peso di volume apparente medio ( $\gamma$ ) pari a circa  $2,1 \text{ t/m}^3$ , si è calcolato il volume complessivo di materiale eroso annualmente nell'intero comprensorio studiato; esso è risultato pari a circa  $290.240 \text{ m}^3/\text{anno}$ . Questo quantitativo corrisponde ad uno strato di terreno uniformemente eroso, pari mediamente a circa  $0,2 \text{ mm/anno}$ .

<b>BACINO</b>	<b>SUPERFICIE (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>TRASPORTO TORBIDO MEDIO ANNUO (T/Km<sup>2</sup>)</b>	<b>SUOLO EROSO MEDIO ANNUO (mm/anno)</b>
Torrente Fiumarella	45,18	2569,74	0,390
Fiume Lambro	76,80	2656,79	0,222
Torrente Mangano	6,74	343,78	0,054
Bacini minori zona Ispani	10,07	3335,34	0,249
Fiume Mingardo	224,27	3410,54	0,154
Bacini del Golfo di Policastro	8,81	2502,98	0,256
Torrente Cocafava	22,15	1225,05	0,271
Bacini minori Golfo di Pisciotta	24,87	1426,71	0,135
Torrente Solofrone	79,75	2307,46	0,081
Fiume Testene	65,99	1906,27	0,110
Fiume Alento	410,75	12926,19	0,299
B. minori Agropoli-Casalvelino	100,74	15797,94	0,385
Fiume Alto Bussento	78,69	697,19	0,066
Fiume Basso Bussento	236,09	4720,98	0,110

Tabella a: Dati riassuntivi, per i bacini studiati, relativi al trasporto torbido medio annuo ed allo strato di suolo eroso

Una volta ricavato il trasporto torbido unitario, questo dato è stato espresso come “*trasporto torbido assoluto*” (t/anno), in funzione dell’area dei bacini. Quindi, si è calcolato il **trasporto solido totale** al litorale dell’Autorità di bacino, incrementato, onde tener conto (seppure a solo titolo orientativo) dell’entità del **trasporto per trascinamento al fondo**, di un’entità che qui si è assunta pari a circa il 15%. E’ risultato, quindi, un quantitativo globale pari a circa 11 milioni di t/anno (Fig. 3).

<b>BACINO</b>	<b>TRASPORTO ASSOLUTO (T/anno)</b>	<b>TRASPORTO AL FONDO (T/anno)</b>	<b>TRASPORTO SOLIDO TOTALE (T/anno)</b>
Torrente Fiumarella	116.100	17.415	133.515
Fiume Lambro	204.041	30.606	234.647
Torrente Mangano	2.318	348	2.666
Bacini minori zona Ispani	33.586	5.038	38.624
Fiume Mingardo	764.875	114.731	879.606
Bacini del Golfo di Policastro	22.063	3.309	25.372
Torrente Cocafava	27.141	4.071	31.212
Bacini del Golfo di Pisciotta	35.489	5.323	40.812
Torrente Solofrone	184.018	27.602	211.620
Fiume Testene	125.793	18.869	144.662
Fiume Alento	5.309.381	796.407	6.105.788
Bacini Agropoli-Casalvelino	1.591.546	238.732	1.830.278
Fiume Alto Bussento	54.863	8.229	63.092
Fiume Basso Bussento	1.114.567	167.185	1.281.752
<b>Totali</b>	<b>9.585.781</b>	<b>1.437.865</b>	<b>11.023.646</b>

Tabella b: Dati riassuntivi, per i bacini studiati, relativi al trasporto assoluto, a quello per trascinamento al fondo ed al trasporto solido totale.

L’analisi di dettaglio dei dati permette di osservare che l’intero bacino dell’Alento, il basso Bussento, il Mingardo ed i minori con foce tra Agropoli e Casalvelino sono, tra tutti i bacini studiati, quelli caratterizzati da processi erosivi più intensi con valori medio – alti di erosione che si collocano tra 0,15 e 0,35 mm di suolo annualmente asportato. Il trasporto torbido assoluto da questi bacino rappresenta circa il 91 % del totale. La maggior erosione che si manifesta in questi bacini è dovuta all’ampia diffusione di terreni argillosi ed argillo – marnosi appartenenti alle diverse formazioni del flysch del Cilento ivi presenti, nonché alla maggiore acclività di questi terreni. Ciò, trova conferma anche nella notevole diffusione di fenomeni franosi ed erosivi in atto e quiescenti che ivi si rilevano.

Per avere un termine di confronto che consenta di valutare pienamente il significato del dato “*suolo eroso*”, occorre osservare che studi sistematici sull’entità dell’erosione, effettuati dal

Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN), hanno permesso di accertare che per alcuni piccoli bacini (di pochi chilometri quadrati) fortemente dissestati, la degradazione specifica annua può superare i 13 mm/anno. Viceversa, in ampi bacini, dove le punte localizzate di elevata erosione vengono mediate a causa proprio della grande estensione, si hanno valori molto prossimi a 0,1 - 0,2 mm/anno, quindi pienamente in linea con quelli medi riscontrati nel comprensorio d'interesse.

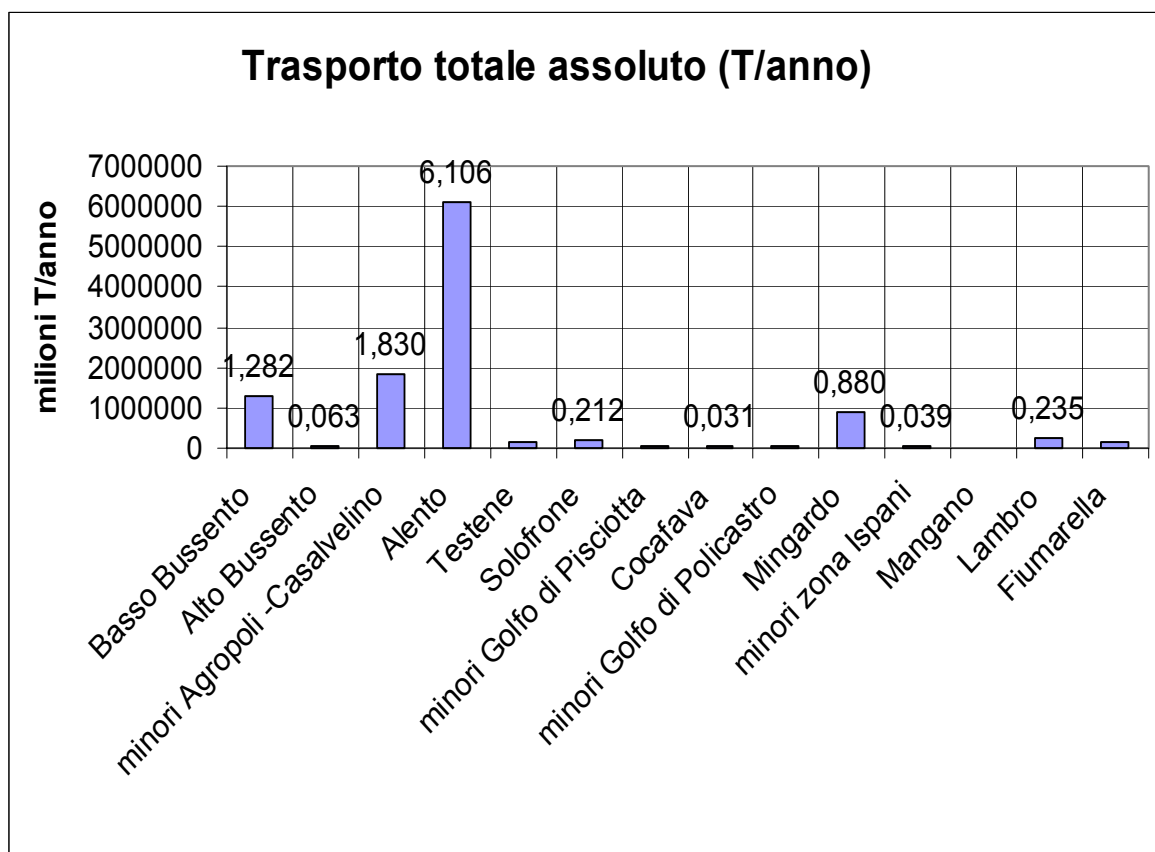


Fig. 3: Trasporto solido totale assoluto potenziale (in migliaia di T/anno) dei bacini idrografici studiati.

Volendo poi effettuare un confronto dei valori medi approssimativi della perdita di suolo, nelle varie situazioni geopedologiche e climatiche italiane, esprimendo l'erosione media annua in millimetri di suolo asportato, alcuni Autori hanno proposto la scala di cui alla successiva tabella c

Bassa erosione (terreni ben difesi)	0,001 – 0,05 mm
Media erosione	0,05 – 0,25 mm
Elevata erosione (terreni degradati)	> 0,25 mm

Tabella c: Classificazione quali – quantitativa dell'erosione del suolo

Sulla base di questa classificazione e tenuto conto dei risultati dello studio effettuato, è possibile affermare che dell'intera area studiata (di superficie pari a circa 1155 km<sup>2</sup>), circa il 31 % è interessata da erosione elevata, il 58 % da media erosione e solo l'11 % di territorio è caratterizzato



da bassa erosione. Per i dettagli relativi all'entità dell'erosione nei diversi bacini studiati, si rimanda alla Carta dell'erosione del suolo allegata alla presente ad all'Appendice 1.

## 5. STIMA DEI MATERIALI SOLIDI PRELEVATI

Ai quantitativi di materiali erosi e trasportati dai corsi d'acqua, precedentemente calcolati, occorre poi sottrarre i prelievi a diverso titolo effettuati in alveo da cave di prestito autorizzate o abusive e quelli che vengono trattenuti dalle opere di sbarramento (dighe) presenti lungo alcuni dei corsi d'acqua principali.

### 5.1 Prelievi in alveo

Per quanto concerne i materiali che vengono prelevati direttamente dagli alvei, questa stima è naturalmente quanto mai ardua poiché solo una frazione molto limitata di questo prelievo è regolarmente assentita dagli Uffici competenti. Ciò malgrado, sono stati acquisiti i dati disponibili presso il Genio Civile di Salerno relativi al periodo dal 1979 al 1999 riguardanti i Fiumi Mingardo, Sciarapotamo, Alento, Bussento e Lambro, nonché quelli dei Torrenti Oliva, dei Santi, di Gioi, di Orria e Fiumicello. Nelle figure 4 - 11, sono riportati i quantitativi annualmente estratti, il totale e la media del periodo considerato relativi ai corsi d'acqua menzionati.

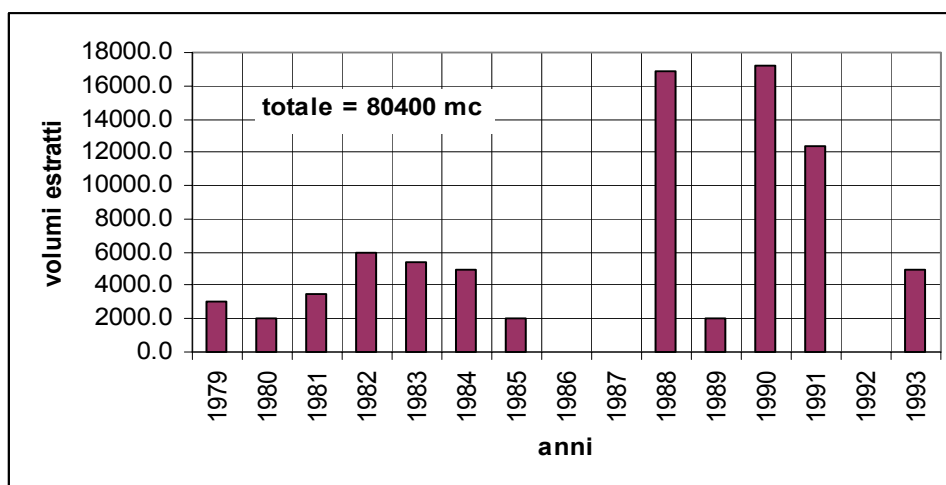


Fig. 4: Volumi di inerti estratti dal Fiume Mingardo nel periodo 1979 – 1993 (media in 15 anni = 5360 metri cubi all'anno).

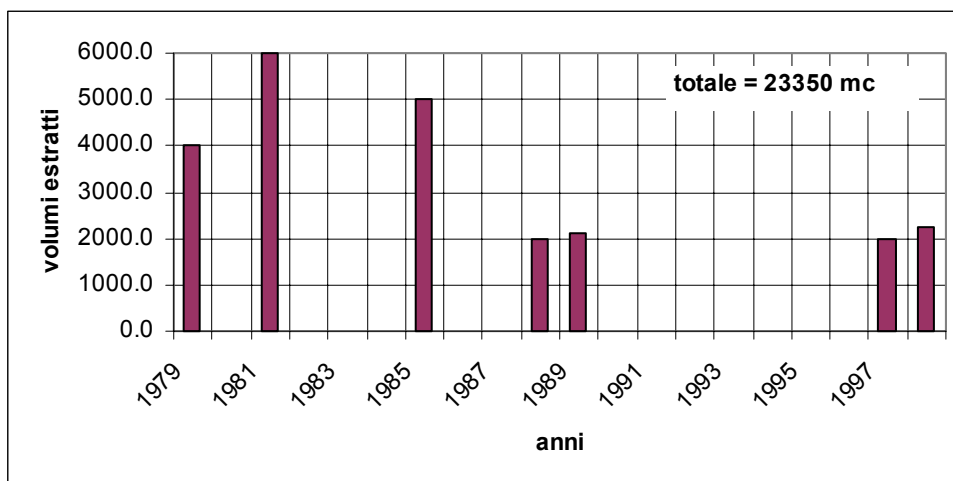


Fig. 5: Volumi di inerti estratti dal Fiume Sciarapotamo nel periodo 1979 – 1999 (media in 20 anni = 1168 metri cubi all'anno).

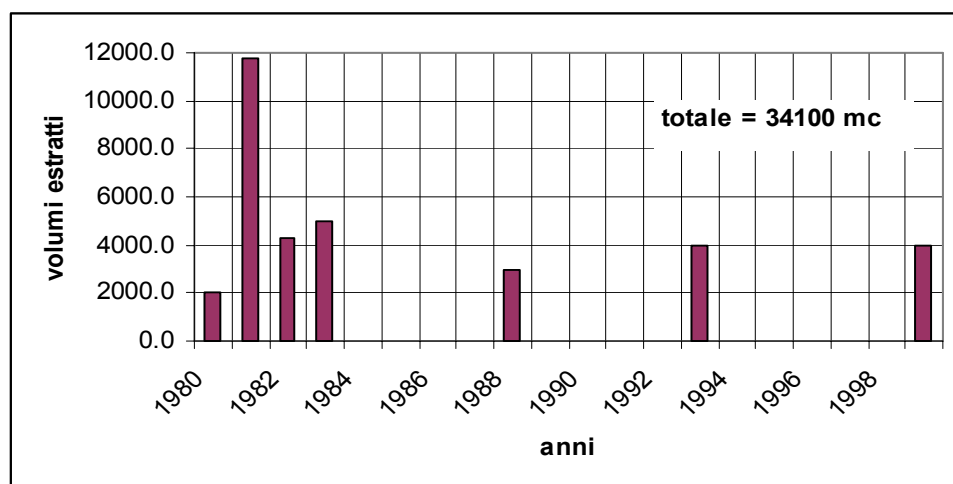


Fig. 6: Volumi di inerti estratti dal Torrente dei Santi nel periodo 1980 – 1999 (media in 20 anni = 1705 metri cubi all'anno).

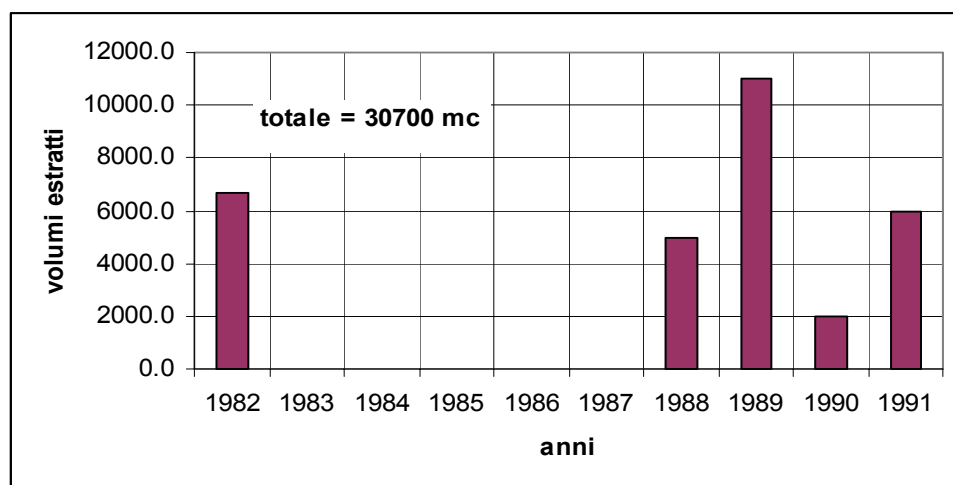


Fig. 7: Volumi di inerti estratti dal Torrente di Gioi nel periodo 1982 – 1991 (media in 10 anni = 3070 metri cubi all'anno).

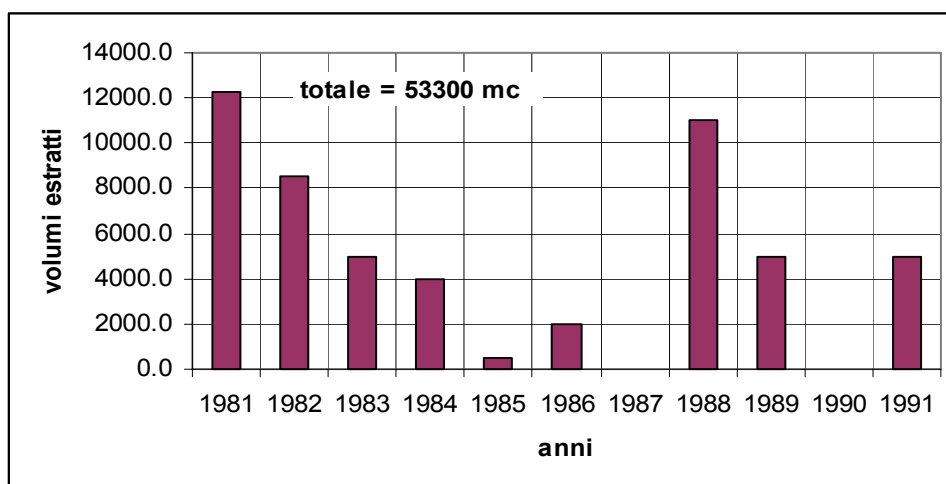


Fig. 8: Volumi di inerti estratti dal Fiume Alento nel periodo 1981 – 1991 (media in 11 anni = 4845 metri cubi all'anno).

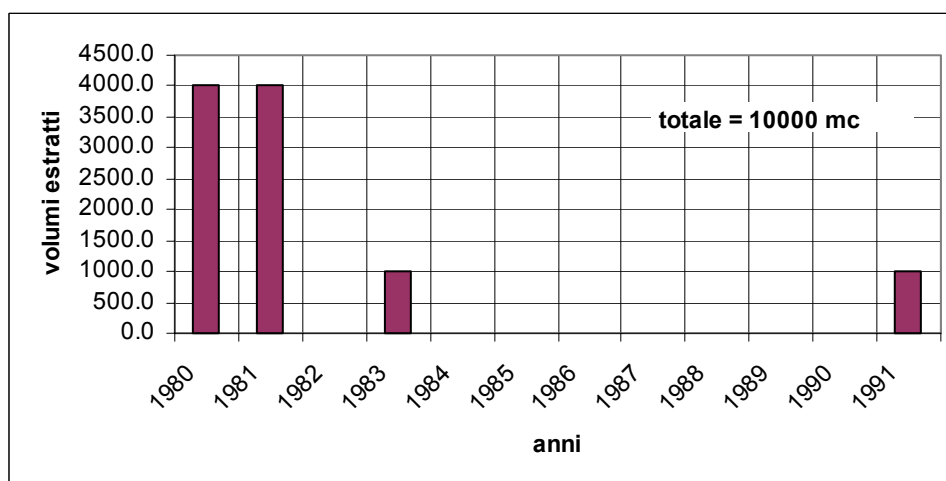


Fig. 9: Volumi di inerti estratti dal Fiume Bussento nel periodo 1980 – 1991 (media in 12 anni = 833 metri cubi all'anno).

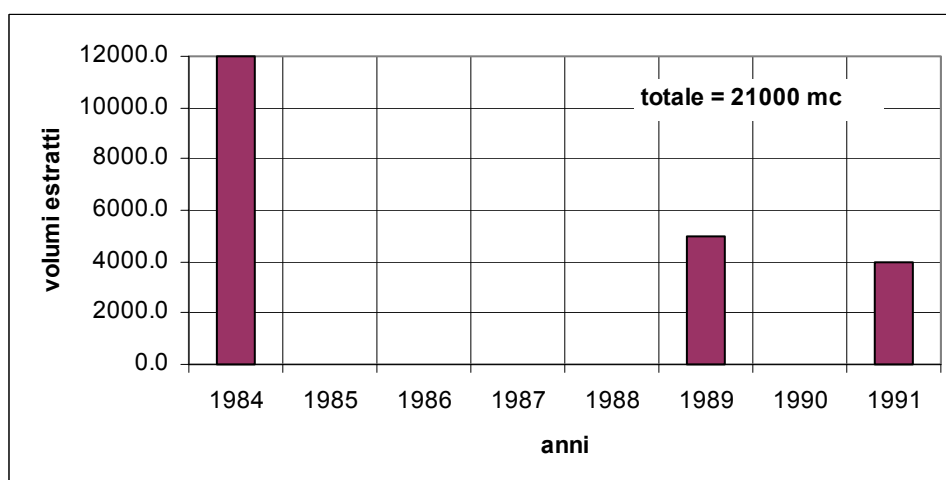


Fig. 10: Volumi di inerti estratti dal Torrente Fiumicello nel periodo 1984 – 1991 (media in 8 anni = 2625 metri cubi all'anno).

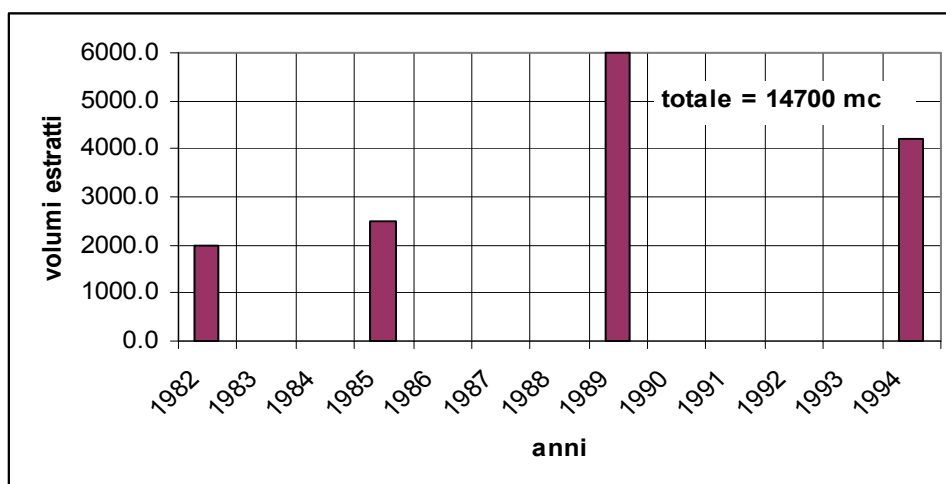


Fig. 11: Volumi di inerti estratti dal Fiume Lambro nel periodo 1982 – 1994 (media in 13 anni = 1131 metri cubi all'anno).

Dai dati di cui sopra, risulta che nel periodo considerato sono stati prelevati, in forma autorizzata, circa 267.600 m<sup>3</sup> di sabbie e ghiaie con massimi di circa 80.000 m<sup>3</sup> dal Mingardo e di 53.000 m<sup>3</sup> dall'Alento. Una stima molto approssimata del prelievo medio annuo, nel periodo considerato, è quindi di circa 13.400 m<sup>3</sup>, che rappresenterebbe solo circa l'1% del trasporto al fondo totale operato dai corsi d'acqua cilentani. Si tratta, naturalmente, di un dato molto approssimato poiché è molto probabile che i quantitativi di materiali effettivamente prelevati siano di gran lunga maggiori di quelli autorizzati.

## 5.2 Stima dei quantitativi di materiale solido sottratti dagli sbarramenti

Al volume complessivo di materiale precedentemente calcolato, bisogna poi sottrarre quello che, per effetto della realizzazione dell'invaso di Piano della Rocca e di altre opere di sbarramento (dighe e traverse) lungo il corso del Fiume Alento, viene trattenuto a monte delle stesse. Infatti, solo nell'Alento sono presenti invasi in grado di operare rilevanti distrazioni di materiali dal trasporto fluviale, soprattutto a causa della natura litologica dei terreni sottesi alle opere in questione. La porzione di bacino del fiume Alento, sottesa alla diga di Piano della Rocca (il principale vaso dell'area cilentana), ha una superficie di circa 105 km<sup>2</sup>.

Con la metodologia di calcolo precedentemente utilizzata è stato quantificato l'apporto medio annuo di materiale solido fornito dai sottobacini tributari dell'invaso stesso. E' risultato, quindi, un dato di 10.400 m<sup>3</sup>/anno, che rappresenta circa il 24 % del totale. Questo è, quindi, il quantitativo di materiale che, almeno dall'entrata in funzione dell'invaso del Consorzio Velia per la bonifica dell'Alento (1994), non raggiunge più il mare. Va ancora osservato che la costruzione della diga ha interessato un periodo di tempo compreso tra il 1988 (costruzione dell'avandiga) e il 1994 (inizio del funzionamento dell'invaso). Pertanto, attese le caratteristiche dell'avandiga e della galleria di deviazione, ivi compreso il suo imbocco, si ritiene che un'aliquota del volume medio annuo di

materiale solido trasportabile a valle in assenza di ostacoli al deflusso possa, di fatto, essersi depositato nel tratto di fiume a monte della sezione di imposta della diga, in conseguenza del rallentamento della corrente che si è andato manifestando soprattutto durante le piene. Per il suddetto arco temporale, si stima una riduzione della portata solida media annua pari al 20% circa.

In definitiva, il volume di materiale solido complessivamente sottratto ai processi morfodinamici costieri nel periodo 1988-1999 ammonterebbe, in base alle stime precedentemente effettuate, a circa 67.000 m<sup>3</sup>.

Per quanto riguarda le altre cinque dighe e le tre traverse ricadenti nel bacino dell'Alento, le valutazioni effettuate forniscono i seguenti risultati, che tengono conto sia dell'area del bacino sotteso da ciascuno degli sbarramenti che della relativa densità di drenaggio. In particolare, suddividendo le dighe e traverse in due diversi gruppi ricadenti, rispettivamente, nei sottobacini del Torrente Badolato (n. 2 traverse + dighe del Carmine e di Nocellito), e del Torrente Palistro (n. 1 traversa + invasi Fabbrica, S.Giovanni e Le Fosse), i quantitativi di materiale solido mediamente trattenuti annualmente risultano essere:

- sbarramenti sul T. Badolato ed affluenti: 1200 m<sup>3</sup>/anno;
- sbarramenti sul T. Palistro ed affluenti: 3900 m<sup>3</sup>/anno.

Pertanto, tenendo presente l'anno di entrata in funzione dei vari sbarramenti e, più in particolare, delle varie dighe, i volumi di materiale solido complessivamente sottratti da tali sbarramenti nel corso dei diversi periodi può essere così quantificato:

A) periodo 1963-1988

- sbarramenti sul T. Badolato ed affluenti: 2.500 m<sup>3</sup>;
- sbarramenti sul T. Palistro ed affluenti: 75.000 m<sup>3</sup>.

B) periodo 1988-1999

- sbarramenti sul T. Badolato ed affluenti: 14.400 m<sup>3</sup>;
- sbarramenti sul T. Palistro ed affluenti: 46.800 m<sup>3</sup>.

In definitiva, nei due sottoperiodi A e B precedentemente indicati, il quantitativo complessivo sottratto dagli sbarramenti al ripascimento del litorale velino risulta essere:

A) periodo 1963-1988: 77.500 m<sup>3</sup>;

B) periodo 1988-1999: 128.200 m<sup>3</sup>.

per un totale di 205.700 m<sup>3</sup>.

Di questo totale, si deve ritenere sottratto al ripascimento del litorale nei pressi della foce dell'Alento circa il 50%.

In conclusione, sulla base delle considerazioni prima esposte, è possibile stimare, anche se con le inevitabili approssimazioni, in circa 13.400 m<sup>3</sup>/anno i quantitativi di sabbie e ghiaie prelevati direttamente dai greti fluviali ed in circa 19.600 m<sup>3</sup>/anno quelli trattenuti dalle dighe ed opere di sbarramento principali. Il quantitativo totale trattenuto, quindi, rappresenterebbe circa il 2,5 % del trasporto al fondo operato dai corsi d'acqua cilentani.

## **6. ULTERIORI APPROCCI DISPONIBILI PER LA VALUTAZIONE DELL'APPORTO SOLIDO A LIVELLO DI BACINO (cfr relazione specialistica Idraulica fluviale)**

### **6.1 I modelli RUSLE e USPED**

I processi morfologici che si sviluppano lungo i corsi d'acqua sono intimamente connessi ai fenomeni di trasporto solido che in essi si producono. Questi ultimi sono, a loro volta, regolamentati dal bilancio che si stabilisce tra la disponibilità di sedimenti (apporto solido dal bacino) e l'effettiva capacità di trasporto della corrente.

Il materiale solido disponibile al trasporto è originato sia da processi erosivi di tipo diffuso, che interessano alcune aree del bacino (sorgenti di sedimento), sia da processi erosivi di tipo lineare, che riguardano gli elementi del reticolo idrografico.

In generale, la valutazione della *produzione di sedimenti*, cioè della quantità di sedimenti che sono trasferiti, in un assegnato intervallo di tempo, dalle zone di erosione (sorgenti di sedimento) fino alla sezione di chiusura del bacino, può essere condotta utilizzando diversi tipi di approcci: tra questi, quelli più utilizzati, seppure solo a scala di versante, sono il modello *WEPP* ed il modello *RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)*. Tali modelli, pur fornendo stime particolarmente attendibili a scala di versante, non risultano tuttavia facilmente applicabili alla scala di un intero bacino o dei singoli sottobacini, per cui si è ritenuto più affidabile, per le valutazioni da effettuare nell'ambito del presente progetto, fare riferimento ad un altro tipo di modello: il modello *USPED (Unit Stream Power - based Erosion Deposition)*.

Il modello USPED, descritto più in dettaglio nei paragrafi successivi, dovrebbe essere di norma utilizzato per la stima dell'apporto di sedimenti proveniente da un generico bacino idrografico unitamente ad un modello matematico più o meno dettagliato e particolareggiato (costituito, ad esempio, da un semplice operatore matematico o da una più articolata *funzione di trasferimento*) volto a valutare l'efficienza del trasporto di sedimenti lungo i vari elementi della rete idrografica.

Poiché i sedimenti sono prodotti in aree distribuite nel bacino, i processi di trasferimento delle particelle solide dovrebbero essere modellati mediante un *approccio di tipo distribuito*. Pertanto, la modellazione della disaggregazione spaziale dei processi necessita, preventivamente, di effettuare

una discretizzazione del bacino in *unità morfologiche*, cioè in aree a pendenza ed esposizione costante e di nota lunghezza di ruscellamento.

I fenomeni di erosione e di trasporto dei sedimenti lungo i versanti costituiscono, nella loro complessità, un processo fisico ben distinto da quello del moto delle particelle veicolate dalla corrente idrica lungo i vari elementi del reticolo idrografico (trasporto solido). Pertanto, i processi di produzione, deposito e trasferimento dei sedimenti che si sviluppano all'interno delle due componenti (il versante prima, e la rete idrografica poi) del *sistema bacino idrografico* devono essere considerati e modellati separatamente.

In prima approssimazione, alla scala temporale media annua, considerando che nella rete idrografica si siano conseguite condizioni di *equilibrio geomorfoclimatico* (per cui, mediamente nel tempo, non si osservano né fenomeni erosivi, né fenomeni di deposito), la componente dipendente dalla rete idrografica può essere senz'altro trascurata. Analogamente, l'azione esplicata dal reticolo idrografico può essere ritenuta trascurabile anche per piccoli bacini nei quali il reticolo idrografico presenta modeste dimensioni planimetriche.

In tali circostanze, almeno in prima approssimazione, la valutazione dell'apporto solido medio annuo proveniente da un bacino idrografico potrà essere effettuata in base unicamente alla identificazione e quantificazione dei processi che si sviluppano all'interno delle diverse aree del bacino. Pertanto, l'obiettivo che ci si potrà prefiggere sarà, di norma, soprattutto quello di sviluppare la modellazione, in forma distribuita, dei processi di erosione e di trasferimento dei sedimenti.

## **6.2 L'erosione quale fenomeno modellante del terreno**

L'erosione causata dall'acqua è un meccanismo complesso che dipende dai vari usi del suolo, dalle caratteristiche climatiche della zona di interesse, dalla topografia delle aree considerate e dalle proprietà del suolo. La combinazione di questi fattori determina l'entità dei fenomeni di distacco dei sedimenti, di trasporto e di eventuale deposito degli stessi.

Anche se, fino ad oggi, sono stati effettuati, da studiosi di diversa estrazione culturale provenienti da diverse zone del mondo, molti studi ed analisi, anche a carattere sperimentale, nella maggior parte degli aspetti dell'erosione del suolo, il quadro complessivo delle conoscenze nel settore è ben lungi dal ritenersi completo.

In linea di principio, l'erosione del suolo per effetto degli afflussi meteorici può essere divisa in due componenti distinti:

- L'erosione di tipo ruscellare (*rill-erosion*), che può essere definita come l'insieme dei fenomeni di distacco, di trasporto e di deposito dei sedimenti che si concentra all'interno di vie preferenziali di deflusso (*rills*);

- L'*erosione idrica laminare (inter-rill erosion)*, intimamente connessa alla perdita di suolo da parte di un versante quando su di esso scorrono, in forma di un sottile strato liquido, le acque di pioggia.

L'erosione idrica laminare è, quindi, un fenomeno che precede la formazione del reticolo idrografico. A differenza di altri tipi di erosione che, in genere, risultano localizzati in porzioni limitate di territorio, essa agisce in maniera quasi uniforme su ampie aree, costituendo il principale fattore di modellamento della superficie terrestre e, quindi, contribuendo notevolmente a determinare la geomorfologia del territorio.

I processi di disgregazione, trasporto e deposizione di materiali lapidei lungo un versante dipendono dai caratteri pedo-climatici dell'ambiente.

## **7 FATTORI CHE INFLUENZANO L'EROSIONE DEI SUOLI**

Il suolo rappresenta il complesso risultato dell'interazione di numerosi fattori sia naturali che antropici con le rocce della superficie terrestre. Tra questi, possono senz'altro annoverarsi: il clima, l'esposizione, le pendenze, i processi fisico-chimici, fattori antropici. In quanto segue, vengono brevemente descritte le modalità con cui i diversi fattori possono agire nel determinare l'entità dei processi di erosione, trasporto e deposito dei sedimenti e, quindi, in definitiva, l'entità dell'apporto solido da un bacino.

### **7.1 *Clima***

Tra i fattori naturali, il clima è, senz'altro, uno dei più importanti, in quanto l'azione degli agenti atmosferici favorisce: da un lato, la disgregazione fisica delle rocce e l'erosione del materiale detritico prodotto; dall'altro, l'alterazione chimica degli elementi che costituiscono il suolo. Risulta tuttavia importante sottolineare che l'azione degli agenti atmosferici produce effetti differenti, tanto al variare della quota che della latitudine.

### **7.2 *Esposizione***

Per quanto riguarda l'esposizione, va osservato che, a seconda del quadrante verso cui è rivolto il versante, la quantità di materiale litoide disgregato è diversa. Questo perché, in generale, a seconda dell'apporto energetico del sole, è differente l'escursione termica e l'umidità e, di conseguenza, il tipo e le modalità di crescita della vegetazione.



### **7.3 Inclinazione**

Per quanto riguarda l'inclinazione, va osservato, preliminarmente, che un aumento della pendenza del versante rende più agevole l'allontanamento delle particelle che costituiscono il suolo e che si sono rese disponibili al trasporto per effetto dell'erosione.

### **7.4 Processi fisici e chimici**

Altri fattori naturali che influiscono sulla produzione di materiale detritico e sull'evoluzione del suolo sono i processi fisici, quali l'azione disgregante delle radici delle piante, e quelli chimici, come la produzione di sostanze organiche di decomposizione da parte degli organismi animali e vegetali che legano il loro ciclo biologico alle caratteristiche stesse del suolo con cui sono direttamente a contatto

### **7.5 Fattori antropici**

Passando ai fattori antropici, va osservato che l'uomo, nel corso dei secoli, ha agito sul territorio nella sua complessità e, più in particolare, sul suolo, attraverso i disboscamenti, le pratiche agricole, le opere ingegneristiche e la scarsa attenzione nell'utilizzo di prodotti inquinanti, tanto da provocare alterazioni dei processi naturali. Dall'azione dei fattori sopra descritti, che agiscono insieme ma con modalità ed entità variabili nel tempo, scaturisce la molteplicità dei tipi di suolo esistenti in una determinata zona e, quindi, la difficoltà di poter descrivere sinteticamente, in un quadro d'insieme, aree di vasta estensione.

## **8 DESCRIZIONE DEL MODELLO SPAZIALE DI EROSIONE E APPORTO SOLIDO USPED**

I diversi aspetti sopra richiamati sono tenuti debitamente presenti nel modello *USPED* utilizzato, nell'ambito del presente progetto, allo scopo di stimare l'apporto solido medio annuo proveniente dai bacini idrografici dei fiumi Testene e Solofrone e, quindi, una delle aliquote di materiale solido da portare in conto all'interno di un bilancio di sedimenti volto ad analizzare i fenomeni di regressione/protrusione che possono svilupparsi sulla zona di litorale antistante l'abitato di Agropoli.

In quanto segue, viene riportata una breve descrizione del modello *USPED*.

### **8.1 Breve descrizione del modello USPED**

*USPED* (*Unit Stream Power - based Erosion Deposition*) è un modello semplice, in grado di predire la distribuzione spaziale dei tassi di erosione e di deposito relativamente ad uno stato

stazionario di flusso superficiale caratterizzato da condizioni uniformi di eccesso di pioggia (eccesso di pioggia = pioggia efficace ai fini della formazione del ruscellamento superficiale, data dalla differenza tra la pioggia affluita al suolo e l'aliquota che va ad infiltrarsi). Esso ipotizza che il processo di erosione sia limitato dalla *capacità di trasporto*.

Il modello è basato sulla teoria originariamente proposta da Moore e Burch (1986), seppure con numerosi miglioramenti apportati nel tempo. Per il caso di capacità di trasporto limitata, il modello assume che la portata di sedimenti  $q_s(\mathbf{r})$  sia pari alla *capacità di trasporto dei sedimenti*,  $T(\mathbf{r})$ ,  $\mathbf{r}=(x,y)$  che è approssimata da (Julien and Simons, 1985)

$$|q_s(\mathbf{r})| = T(\mathbf{r}) = K_t(\mathbf{r}) |q(\mathbf{r})|^m \sin b(\mathbf{r})^n$$

dove  $b(\mathbf{r})$  [gradi sessagesimali] è la pendenza,  $q(\mathbf{r})$  è la portata,  $K_t(\mathbf{r})$  è il coefficiente di trasportabilità, che dipende dal tipo di suolo e dal tipo di copertura del suolo stesso;  $m$ ,  $n$  sono costanti che variano in accordo al tipo di flusso e alle caratteristiche del suolo. Per condizioni di ruscellamento superficiale lungo i versanti (inter-rill flow), le costanti sono, di norma, poste pari a  $m=1.6$ ,  $n=1.3$  (Foster, 1993). La portata che defluisce in condizioni stazionarie può essere espressa come una funzione dell'area contribuyente immediatamente a monte, per unità di lunghezza del contorno,  $A(\mathbf{r})$  [m]

$$|q(\mathbf{r})| = A(\mathbf{r}) i$$

dove  $i$ [m] è l'intensità media ed uniforme di pioggia (nota: l'approssimazione attraverso l'area a monte trascura la modifica nella velocità della corrente indotta dalle coperture presenti).

Poiché, fino a questo momento, non sono stati prodotti lavori sperimentali volti ad individuare i parametri necessari per l'applicazione del modello *USPED*, di norma, al fine di incorporare gli aspetti legati al tipo di suolo e al tipo di copertura, e di ottenere almeno una stima relativa dell'erosione netta o del deposito, vengono utilizzati i parametri presenti nelle procedure *USLE* o *RUSLE*. Pertanto, si assume di poter stimare la portata di sedimenti in corrispondenza della capacità di trasporto dei sedimenti attraverso l'espressione:

$$T = R K C P A^m (\sin b)^n$$

dove  $R \sim i^m$ ,  $K C P \sim K t$  e  $LS = A^m \sin b^n$ . I valori degli esponenti  $m$  ed  $n$  sono assunti pari a  $m=1.6$ ,  $n=1.3$  allorquando si verificano, prevalentemente, condizioni di rill-erosion, oppure a  $m=n=1$  allorquando si verificano, prevalentemente, condizioni di sheet erosion.

Di conseguenza, l'erosione o il deposito netto è stimato in base alla variazione della portata solida, espressa mediante la divergenza del flusso di sedimenti, data da:

$$ED = \text{div} (T \cdot \mathbf{s}) = d(T \cos a)/dx + d(T \sin a)/dy$$

dove  $a$  [gradi sessagesimali] è il cosiddetto “aspetto” della superficie (dato dalla differenza tra la direzione di flusso e il gradiente della direzione).

Nell'interpretazione dei risultati ottenuti in base alla procedura dianzi descritta occorre senz'altro procedere con cautela, in quanto i parametri della procedura *USLE* sono stati tarati con riferimento a casi piuttosto semplici, caratterizzati da campi disposti pressoché orizzontalmente e suscettibili di limitata erosione per distacco. Di conseguenza, nel caso di condizioni di terreno più complesse, per ottenere previsioni quantitativamente più accurate bisognerebbe procedere ad una loro ricalibrazione (Foster 1990, Mitsova et al., 1997).

La seguente equazione mostra la relazione intercorrente tra l'erosione ed il deposito e il deposito e la forma del terreno, rappresentata attraverso le sue curvature. Per proprietà uniformi dei suoli e delle coperture, rappresentate dall'espressione  $Kt = cost.$ , il tasso netto di erosione/deposito è stimato mediante la divergenza del flusso di sedimenti (cfr. l'Appendice riportata in Mitsova and Mitsova 1998):

$$ED(\mathbf{r}) = \text{div} \mathbf{qs}(\mathbf{r}) = K_t \{ [\text{grad } h(\mathbf{r})] \cdot \mathbf{s}(\mathbf{r}) \sin b(\mathbf{r}) - h(\mathbf{r}) [k_p(\mathbf{r}) + k_t(\mathbf{r})] \}$$

dove  $\mathbf{s}(\mathbf{r})$  è il versore relativo alla direzione di massima pendenza,  $h(\mathbf{r})$  [m] è il tirante idrico della corrente, stimato dall'area a monte  $A(\mathbf{r})$ ,  $k_p(\mathbf{r})$  è la curvatura del profilo (curvatura del terreno nella direzione di massima pendenza),  $k_t(\mathbf{r})$  è la curvatura tangenziale (curvatura nella direzione tangenziale a una isoipsa proiettata sul piano normale). I parametri topografici  $\mathbf{s}(\mathbf{r})$ ,  $k_p(\mathbf{r})$ ,  $k_t(\mathbf{r})$  sono calcolati in base alle derivate del primo e del secondo ordine di una superficie di terreno approssimato mediante RST (Mitsova e Mitsova, 1993; Mitsova e Hofierka, 1993; Krcho, 1991).

## 8.2 Dati necessari per l'applicazione del modello *USPED*

I dati necessari per l'applicazione del modello *USPED* sono numerosi, e risultano tali da poter essere incorporati, abbastanza agevolmente, in un apposito GIS, in modo da poterli poi rielaborare con l'ausilio di un apposito software quale *USPED*.

Nel caso in esame, si è fatto riferimento, come supporto GIS, al software ARCVIEW 3.2, corredato da un pacchetto applicativo denominato “*Spatial Analyst*”. L’uso di un sistema informativo geografico quale quello indicato ha consentito, innanzi tutto, la predisposizione di apposite mappe tematiche, quali: la Carta delle pendenze (cfr. la Tav. 03 allegata al progetto); la Carta dell’Esposizione (cfr. la Tav. 04 allegata al progetto); la carta dell’Uso del Suolo (cfr. la Tav. 05 allegata al progetto); la carta del Fattore di Copertura del Suolo C (cfr. la Tav. 07 allegata al progetto); la Carta del Fattore di Erodibilità del Suolo K (cfr. la Tav. 08 allegata al progetto); la Carta delle Permeabilità (cfr. la Tav. 09 allegata al progetto).

Il modello *USPED* necessita, a sua volta, dei seguenti dati:

- Modello digitale del Terreno (DEM);
- Valore R dell’altezza di pioggia in una durata pari a 30 minuti (R = Rainfall);
- Fattore “C” dell’Uso del Suolo;
- Fattore “K” delle tipologia di suolo nei confronti dell’erodibilità;

Tali dati devono essere posseduti con un grado di dettaglio relativo a celle di dimensioni non superiori a  $30 \times 30$  m

Di conseguenza, per l’applicazione del modello *USPED* al caso dei bacini del fiume Testene e del fiume Solofrone, si è provveduto dapprima ad acquisire le informazioni rilevanti e, quindi, ad elaborare fino ad addivenire ad una stima dell’apporto solido medio annuo dal bacino.

## 9 RISULTATI OTTENUTI

I risultati ottenuti in base all'applicazione del Modello USPED sono sintetizzati nelle carte tematiche allegate alla presente relazione tematica, ottenute in base all'utilizzazione del supporto ARC-VIEW.

A tale proposito, si coglie l'occasione per fare presente che, allo scopo di poter provvedere rapidamente al completamento di tutte le attività previste del Progetto di Piano Stralcio, si è avuto cura di predisporre, uno specifico programma applicativo, descritto in un'altra relazione tematica consegnata in uno con la presente.

### BIBLIOGRAFIA

Ciccacci S., Fredi P., Lupia Palmieri E., Pugliese F.: *Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali*, Boll. Soc. Geol. It. Vol. 99, 455-516.

## **APPENDICE 1**

Sottobacino	D	$\tau$	Tu'	Tu''	Tu <sub>med</sub>	Superficie	Vol <sub>eroso</sub>	Suolo eroso	
*-*	km <sup>-1</sup>	*-*	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	mm/anno	
1	4,39	0,2	960,39	723,20	<b>841,79</b>	18,634	7469,506	0,401	
2	3,98	0,24	688,13	532,64	<b>610,38</b>	16,426	4774,341	0,291	
3	4,75	0,29	1286,97	948,15	<b>1117,56</b>	10,12	5385,589	0,532	
					<b>2569,74</b>	<b>45,18</b>	17629,436	<b>0,390</b>	

Bacino del T. Fiumarella	
Superficie totale (km <sup>2</sup> )	<b>45,18</b>
Trasporto solido medio annuo (T/km <sup>2</sup> )	<b>2569,74</b>
$\gamma_{medio}$ suolo (T/m <sup>3</sup> )	2,1
Suolo eroso medio annuo (mm/anno)	<b>0,390</b>

**Tabella 1: Dati riassuntivi relativi al trasporto solido in uscita dal bacino del Torrente Fiumarella.**

Legenda: D = densità di drenaggio;  $\tau$  = gradiente medio di pendio; Tu' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (1); Tu'' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (3); Tu<sub>med</sub> = media dei valori di Tu' e Tu''; Vol<sub>eroso</sub> = volume di suolo eroso in media annua.

Sottobacino *_*	D km <sup>-1</sup>	τ *_*	Tu' T/km <sup>2</sup>	Tu'' T/km <sup>2</sup>	Tu <sub>med</sub> T/km <sup>2</sup>	Superficie km <sup>2</sup>	Vol <sub>eroso</sub> m <sup>3</sup>	Suolo eroso mm/anno	
1	2,75	0,16	253,12	212,01	<b>232,57</b>	17,72	1962,433	0,111	
2	3,84	0,19	614,09	479,26	<b>546,67</b>	28,34	7377,490	0,260	
3	3,44	0,11	443,59	354,85	<b>399,22</b>	0,16	30,417	0,190	
4	3,87	0,24	629,25	490,58	<b>559,92</b>	11,74	3130,195	0,267	
5	2,8	0,31	263,62	220,70	<b>242,16</b>	7,21	831,416	0,115	
6	4,11	0,3	764,84	587,66	<b>676,25</b>	11,63	3745,139	0,322	
					<b>2656,79</b>	76,8	17077,090	<b>0,222</b>	

B. del Lambro	
Superficie totale (km <sup>2</sup> )	<b>76,8</b>
Trasporto solido medio annuo (T/km <sup>2</sup> )	<b>2656,79</b>
γ <sub>medio</sub> suolo (T/m <sup>3</sup> )	2,1
Suolo eroso medio annuo (mm/anno)	<b>0,222</b>

**Tabella 2: Dati riassuntivi relativi al trasporto solido in uscita dal bacino del Fiume Lambro.**

Legenda: D = densità di drenaggio; τ = gradiente medio di pendio; Tu' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (1); Tu'' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (3); Tu<sub>med</sub> = media dei valori di Tu' e Tu''; Vol<sub>eroso</sub> = volume di suolo eroso in media annua.



Sottobacino	D	$\tau$	Tu'	Tu''	Tu <sub>med</sub>	Superficie	Vol <sub>eroso</sub>	Suolo eroso
*-*	km <sup>-1</sup>	*-*	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	mm/anno
1	1,86	0,08	122,76	108,82	<b>115,79</b>	1,009	55,634	0,055
2	1,86	0,83	122,76	110,32	<b>116,54</b>	2,278	126,419	0,055
3	1,81	0,19	117,87	105,04	<b>111,45</b>	3,457	183,473	0,053
					<b>343,78</b>	<b>6,744</b>	365,527	<b>0,054</b>

Bacino del T. Mangano	
Superficie totale (km <sup>2</sup> )	<b>6,744</b>
Trasporto solido medio annuo (T/km <sup>2</sup> )	<b>343,78</b>
$\gamma_{medio}$ suolo (T/m <sup>3</sup> )	2,1
Suolo eroso medio annuo (mm/anno)	<b>0,054</b>

**Tabella 3: Dati riassuntivi relativi al trasporto solido in uscita dal bacino del Fiume Mangano.**

Legenda: D = densità di drenaggio;  $\tau$  = gradiente medio di pendio; Tu' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (1); Tu'' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (3); Tu<sub>med</sub> = media dei valori di Tu' e Tu''; Vol<sub>eroso</sub> = volume di suolo eroso in media annua.

Sottobacino	D	$\tau$	Tu'	Tu''	Tu <sub>med</sub>	Superficie	Vol. <sub>eroso</sub>	Suolo eroso	
*_*	km <sup>-1</sup>	*_*	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	mm/anno	
1	3,56	0,32	489,05	389,65	<b>439,35</b>	0,482	100,842	0,209	
2	3,31	0,25	399,10	322,80	<b>360,95</b>	2,928	503,265	0,172	
3	3,85	0,28	619,10	483,65	<b>551,38</b>	5,461	1433,841	0,263	
4	5,2	0,2	1855,56	1325,24	<b>1590,40</b>	0,425	321,867	0,757	
5	3,42	0,19	436,44	350,09	<b>393,26</b>	0,774	144,945	0,187	
					<b>3335,34</b>	10,07	2504,760	<b>0,249</b>	

B. minori zona Ispani	
Superficie totale (km <sup>2</sup> )	<b>10,07</b>
Trasporto solido medio annuo (T/km <sup>2</sup> )	<b>3335,34</b>
$\gamma_{medio}$ suolo (T/m <sup>3</sup> )	2,1
Suolo eroso medio annuo (mm/anno)	<b>0,249</b>

**Tabella 4: Dati riassuntivi relativi al trasporto solido in uscita dai bacini minori con foce nella zona di Ispani.**

Legenda: D = densità di drenaggio;  $\tau$  = gradiente medio di pendio; Tu' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (1); Tu'' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (3); Tu<sub>med</sub> = media dei valori di Tu' e Tu''; Vol<sub>eroso</sub> = volume di suolo eroso in media annua.

Sottobacino	D	$\tau$	Tu'	Tu''	Tu <sub>med</sub>	Superficie	Vol <sub>eroso</sub>	Suolo eroso	
*_*	km <sup>-1</sup>	*_*	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	mm/anno	
1	2,66	0,36	235,26	198,94	<b>217,10</b>	24,671	2550,528	0,103	
2	2,99	0,04	307,67	253,13	<b>280,40</b>	0,925	123,509	0,134	
3	3,97	0,18	682,55	528,09	<b>605,32</b>	15,269	4401,260	0,288	
4	3,62	0,27	513,50	407,16	<b>460,33</b>	10,048	2202,575	0,219	
5	3,04	0,36	320,43	264,32	<b>292,37</b>	30,656	4268,118	0,139	
6	3,24	0,15	377,02	305,78	<b>341,40</b>	17,157	2789,217	0,163	
7	3,3	0,26	395,86	320,45	<b>358,16</b>	32,731	5582,338	0,171	
8	3,16	0,3	353,27	288,82	<b>321,04</b>	37,183	5684,461	0,153	
9	2,96	0,33	300,25	248,83	<b>274,54</b>	5,373	702,438	0,131	
10	2,89	0,32	283,64	236,10	<b>259,87</b>	50,255	6218,954	0,124	
					<b>3410,54</b>	<b>224,268</b>	34523,397	<b>0,154</b>	

Bacino del F. Mingardo	
Superficie totale (km <sup>2</sup> )	<b>224,268</b>
Trasporto solido medio annuo (T/km <sup>2</sup> )	<b>3410,54</b>
$\gamma_{medio}$ suolo (T/m <sup>3</sup> )	2,1
Suolo eroso medio annuo (mm/anno)	<b>0,154</b>

**Tabella 5: Dati riassuntivi relativi al trasporto solido in uscita dal bacino del Fiume Mingardo.**

Legenda: D = densità di drenaggio;  $\tau$  = gradiente medio di pendio; Tu' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (1); Tu'' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (3); Tu<sub>med</sub> = media dei valori di Tu' e Tu''; Vol<sub>eroso</sub> = volume di suolo eroso in media annua.

Sottobacino	D	$\tau$	Tu'	Tu''	Tu <sub>med</sub>	Superficie	Vol <sub>eroso</sub>	Suolo eroso	
**	km <sup>-1</sup>	**	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	mm/anno	
1Castellaro	5,2	0,21	1855,56	1325,49	<b>1590,52</b>	0,425	321,891	0,757	
2 Serriere	3,85	0,29	619,10	483,74	<b>551,42</b>	5,462	1434,219	0,263	
3 Soranna	3,31	0,28	399,10	322,98	<b>361,04</b>	2,928	503,388	0,172	
					<b>2502,98</b>	<b>8,815</b>	2259,498	<b>0,256</b>	

Bacini del Golfo Policastro	
Superficie totale (km <sup>2</sup> )	<b>8,815</b>
Trasporto solido medio annuo (T/km <sup>2</sup> )	<b>2502,98</b>
$\gamma_{medio}$ suolo (T/m <sup>3</sup> )	2,1
Suolo eroso medio annuo (mm/anno)	<b>0,256</b>

**Tabella 6: Dati riassuntivi relativi al trasporto solido in uscita dai bacini con foce nel golfo di Policastro.**

Legenda: D = densità di drenaggio;  $\tau$  = gradiente medio di pendio; Tu' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (1); Tu'' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (3); Tu<sub>med</sub> = media dei valori di Tu' e Tu''; Vol<sub>eroso</sub> = volume di suolo eroso in media annua.

Sottobacino	D	$\tau$	Tu'	Tu''	Tu <sub>med</sub>	Superficie	Vol. <sub>eroso</sub>	Suolo eroso	
*_*	km <sup>-1</sup>	*_*	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	mm/anno	
1	2,67	0,05	237,18	199,30	<b>218,24</b>	1,13	117,435	0,104	
2	3,24	0,21	377,02	306,12	<b>341,57</b>	5,005	814,064	0,163	
3	4,09	0,21	752,51	577,98	<b>665,24</b>	16,02	5074,865	0,317	
					<b>1225,05</b>	<b>22,155</b>	6006,364	<b>0,271</b>	

Bacino del T. Cocafava	
Superficie totale (km <sup>2</sup> )	<b>22,155</b>
Trasporto solido medio annuo (T/km <sup>2</sup> )	<b>1225,05</b>
$\gamma_{medio}$ suolo (T/m <sup>3</sup> )	2,1
Suolo eroso medio annuo (mm/anno)	<b>0,271</b>

**Tabella 7: Dati riassuntivi relativi al trasporto solido in uscita dal bacino del Torrente Cocafava.**

Legenda: D = densità di drenaggio;  $\tau$  = gradiente medio di pendio; Tu' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (1); Tu'' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (3); Tu<sub>med</sub> = media dei valori di Tu' e Tu''; Vol<sub>eroso</sub> = volume di suolo eroso in media annua.

Sottobacino	D	$\tau$	Tu'	Tu''	Tu <sub>med</sub>	Superficie	Vol. <sub>eroso</sub>	Suolo eroso	
*_*	km <sup>-1</sup>	*_*	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	mm/anno	
1	3,58	0,32	497,07	395,52	<b>446,30</b>	7,048	1497,857	0,213	
2	2,96	0,31	300,25	248,74	<b>274,50</b>	8,111	1060,214	0,131	
3	2,46	0,27	199,95	171,03	<b>185,49</b>	4,609	407,105	0,088	
4	2,78	0,2	259,37	216,98	<b>238,18</b>	1,029	116,707	0,113	
5	2,06	0,29	144,44	126,86	<b>135,65</b>	3,011	194,494	0,065	
6	2,16	0,22	156,67	136,54	<b>146,60</b>	1,067	74,488	0,070	
					<b>1426,71</b>	24,875	3350,866	<b>0,135</b>	

B. minori del Golfo di Pisciotta	
Superficie totale (km <sup>2</sup> )	<b>24,875</b>
Trasporto solido medio annuo (T/km <sup>2</sup> )	<b>1426,71</b>
$\gamma_{\text{medio}}$ suolo (T/m <sup>3</sup> )	2,1
Suolo eroso medio annuo (mm/anno)	<b>0,135</b>

**Tabella 8: Dati riassuntivi relativi al trasporto solido in uscita dai bacini minori con foce nel golfo di Pisciotta.**

Legenda: D = densità di drenaggio;  $\tau$  = gradiente medio di pendio; Tu' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (1); Tu'' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (3); Tu<sub>med</sub> = media dei valori di Tu' e Tu''; Vol<sub>eroso</sub> = volume di suolo eroso in media annua.

Sottobacino	D	$\tau$	Tu'	Tu''	Tu <sub>med</sub>	Superficie	Vol <sub>eroso</sub>	Suolo eroso	
*_*	km <sup>-1</sup>	*_*	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	mm/anno	
1	2,05	0,13	143,27	125,55	<b>134,41</b>	4,3759	280,073	0,064	
2	1,87	0,16	123,76	109,80	<b>116,78</b>	19,9044	1106,870	0,056	
3	4,55	0,05	1093,82	812,88	<b>953,35</b>	0,9435	428,326	0,454	
4	2,45	0,1	198,33	169,23	<b>183,78</b>	2,9824	261,002	0,088	
5	2,9	0,2	285,96	237,35	<b>261,65</b>	8,2135	1023,378	0,125	
6	1,74	0,33	111,35	99,94	<b>105,64</b>	28,8104	1449,331	0,050	
7	3,05	0,18	323,05	265,43	<b>294,24</b>	5,3241	745,976	0,140	
8	2,88	0,21	281,34	233,87	<b>257,61</b>	9,1953	1127,989	0,123	
					<b>2307,46</b>	79,7495	6422,944	<b>0,081</b>	

Bacino del F. Solofrone	
Superficie totale (km <sup>2</sup> )	<b>79,7495</b>
Trasporto solido medio annuo (T/km <sup>2</sup> )	<b>2307,46</b>
$\gamma_{\text{medio}}$ suolo (T/m <sup>3</sup> )	2,1
Suolo eroso medio annuo (mm/anno)	<b>0,081</b>

**Tabella 9: Dati riassuntivi relativi al trasporto solido in uscita dal bacino del Torrente Solofrone.**

Legenda: D = densità di drenaggio;  $\tau$  = gradiente medio di pendio; Tu' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (1); Tu'' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (3); Tu<sub>med</sub> = media dei valori di Tu' e Tu''; Vol<sub>eroso</sub> = volume di suolo eroso in media annua.

Sottobacino	D	$\tau$	Tu'	Tu''	Tu <sub>med</sub>	Superficie	Vol. <sub>eroso</sub>	Suolo eroso	
*_*	km <sup>-1</sup>	*_*	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	mm/anno	
1	1,61	0,094	100,18	90,29	<b>95,23</b>	2,1073	95,565	0,045	
2	2,95	0,142	297,82	246,13	<b>271,98</b>	7,9703	1032,255	0,130	
3	1,96	0,007	133,16	117,11	<b>125,14</b>	0,4482	26,707	0,060	
4	2,69	0,18	241,07	202,79	<b>221,93</b>	4,2879	453,146	0,106	
5	1,9	0,078	126,82	112,12	<b>119,47</b>	1,1848	67,403	0,057	
6	2,5	0,18	206,56	175,93	<b>191,25</b>	7,702	701,417	0,091	
7	2,52	0,13	209,95	178,42	<b>194,18</b>	1,5796	146,062	0,092	
8	2,5	0,2	206,56	175,99	<b>191,28</b>	5,4908	500,128	0,091	
9	2,78	0,23	259,37	217,10	<b>238,24</b>	10,9064	1237,290	0,113	
10	2,88	0,2	281,34	233,83	<b>257,59</b>	24,3117	2982,074	0,123	
					<b>1906,27</b>	<b>65,989</b>	7242,047	<b>0,110</b>	

Bacino del F. Testene	
Superficie totale (km <sup>2</sup> )	<b>65,989</b>
Trasporto solido medio annuo (T/km <sup>2</sup> )	<b>1906,27</b>
$\gamma_{\text{medio}}$ suolo (T/m <sup>3</sup> )	2,1
Suolo eroso medio annuo (mm/anno)	<b>0,110</b>

**Tabella 10: Dati riassuntivi relativi al trasporto solido in uscita dal bacino del Fiume Testene.**

Legenda: D = densità di drenaggio;  $\tau$  = gradiente medio di pendio; Tu' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (1); Tu'' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (3); Tu<sub>med</sub> = media dei valori di Tu' e Tu''; Vol<sub>eroso</sub> = volume di suolo eroso in media annua.



Sottobacino	D	$\tau$	Tu'	Tu''	Tu <sub>med</sub>	Superficie	Vol. <sub>eroso</sub>	Suolo eroso	
*-*	km <sup>-1</sup>	*-*	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	mm/anno	
1	3,74	0,25	566,13	445,22	<b>505,68</b>	17,8726	4303,685	0,241	
2	3,36	0,17	415,66	334,61	<b>375,13</b>	6,0215	1075,645	0,179	
3	3,49	0,15	462,00	368,63	<b>415,31</b>	17,8449	3529,165	0,198	
4	4,16	0,15	796,58	608,37	<b>702,48</b>	15,8605	5305,533	0,335	
5	3,9	0,36	644,79	502,81	<b>573,80</b>	19,7078	5384,922	0,273	
6	2,88	0,15	281,34	233,62	<b>257,48</b>	0,6348	77,832	0,123	
7	2,73	0,18	249,04	208,94	<b>228,99</b>	5,2813	575,892	0,109	
8	2,93	0,32	293,02	243,27	<b>268,14</b>	5,7972	740,228	0,128	
9	3,13	0,24	344,76	282,10	<b>313,43</b>	27,6893	4132,682	0,149	
10	3,36	0,33	415,66	335,59	<b>375,62</b>	8,5623	1531,517	0,179	
11	3,4	0,14	429,40	344,58	<b>386,99</b>	13,8097	2544,845	0,184	
12	4,37	0,21	944,90	712,59	<b>828,74</b>	32,7602	12928,495	0,395	
13	5,06	0,25	1655,91	1194,62	<b>1425,27</b>	29,1457	19781,122	0,679	
14	3,71	0,25	552,49	435,34	<b>493,92</b>	27,2374	6406,190	0,235	
15	2,19	0,07	160,54	139,25	<b>149,90</b>	0,8904	63,556	0,071	
16	4,39	0,24	960,39	723,73	<b>842,06</b>	45,1042	18085,863	0,401	
17	4,61	0,26	1148,51	853,45	<b>1000,98</b>	22,2053	10584,269	0,477	
18	2,48	0,22	203,23	173,45	<b>188,34</b>	12,2132	1095,335	0,090	
19	1,65	0,17	103,49	93,16	<b>98,33</b>	0,9664	45,248	0,047	
20	2,98	0,24	305,17	252,17	<b>278,67</b>	14,5166	1926,362	0,133	
21	2,35	0,25	182,84	157,46	<b>170,15</b>	8,7562	709,481	0,081	
22	3,86	0,31	624,16	487,55	<b>555,85</b>	14,3522	3798,906	0,265	
23	4,17	0,24	803,08	613,95	<b>708,52</b>	3,749	1264,869	0,337	
24	4,68	0,27	1215,77	899,47	<b>1057,62</b>	21,4563	10806,012	0,504	
25	2,93	0,29	293,02	243,14	<b>268,08</b>	22,6242	2888,103	0,128	
26	3,61	0,27	509,35	404,12	<b>456,74</b>	15,6867	3411,748	0,217	
					<b>12926,19</b>	<b>410,7459</b>	122997,505	<b>0,299</b>	

Bacino del F. Alento	
Superficie totale (km <sup>2</sup> )	<b>410,7459</b>
Trasporto solido medio annuo (T/km <sup>2</sup> )	<b>12926,19</b>
$\gamma_{\text{medio}}$ suolo (T/m <sup>3</sup> )	2,1
Suolo eroso medio annuo (mm/anno)	<b>0,299</b>

**Tabella 11: Dati riassuntivi relativi al trasporto solido in uscita dal bacino del Fiume Alento.**

Legenda: D = densità di drenaggio;  $\tau$  = gradiente medio di pendio; Tu' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (1); Tu'' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (3); Tu<sub>med</sub> = media dei valori di Tu' e Tu''; Vol<sub>eroso</sub> = volume di suolo eroso in media annua.

Sottobacino	D	$\tau$	Tu'	Tu''	Tu <sub>med</sub>	Superficie	Vol <sub>eroso</sub>	Suolo eroso	
*_*	km <sup>-1</sup>	*_*	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	mm/anno	
1	2,94	0,12	295,41	244,20	<b>269,80</b>	0,6975	89,614	0,128	
2	3,63	0,06	517,70	408,64	<b>463,17</b>	0,219	48,302	0,221	
3	2,47	0,15	201,58	171,93	<b>186,76</b>	7,921	704,435	0,089	
4	5,57	0,25	2506,85	1749,23	<b>2128,04</b>	1,3667	1384,949	1,013	
5	5,67	0,27	2719,20	1885,73	<b>2302,46</b>	1,4473	1586,835	1,096	
6	3,71	0,22	552,49	435,10	<b>493,80</b>	14,5076	3411,338	0,235	
7	3,5	0,21	465,77	371,81	<b>418,79</b>	8,8504	1764,970	0,199	
8	4,09	0,18	752,51	577,66	<b>665,09</b>	2,4815	785,910	0,317	
9	3,57	0,27	493,05	392,22	<b>442,63</b>	8,6186	1816,603	0,211	
10	5,21	0,38	1870,70	1339,59	<b>1605,15</b>	19,4495	14866,349	0,764	
11	2,01	0,38	138,68	122,41	<b>130,54</b>	4,4516	276,729	0,062	
12	4,07	0,29	740,37	570,24	<b>655,30</b>	10,4197	3251,455	0,312	
13	4,77	0,24	1308,07	961,56	<b>1134,82</b>	1,7978	971,511	0,540	
14	5,25	0,2	1932,55	1375,73	<b>1654,14</b>	2,6622	2096,974	0,788	
15	4,93	0,2	1489,81	1082,97	<b>1286,39</b>	3,1716	1942,818	0,613	
16	3,9	0,32	644,79	502,44	<b>573,62</b>	7,3739	2014,185	0,273	
17	4,04	0,17	722,53	556,36	<b>639,45</b>	2,1929	667,734	0,304	
18	4,24	0,15	850,12	645,88	<b>748,00</b>	3,1151	1109,563	0,356	
					<b>15797,94</b>	100,7439	38790,275	<b>0,385</b>	

Bacini minori Agropoli-Casalvelino	
Superficie totale (km <sup>2</sup> )	<b>100,7439</b>
Trasporto solido medio annuo (T/km <sup>2</sup> )	<b>15797,94</b>
$\gamma_{\text{medio}}$ suolo (T/m <sup>3</sup> )	2,1
Suolo eroso medio annuo (mm/anno)	<b>0,385</b>

**Tabella 12: Dati riassuntivi relativi al trasporto solido in uscita dai bacini minori con foce tra Agropoli e Casalvelino.**

Legenda: D = densità di drenaggio;  $\tau$  = gradiente medio di pendio; Tu' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (1); Tu'' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (3); Tu<sub>med</sub> = media dei valori di Tu' e Tu''; Vol<sub>eroso</sub> = volume di suolo eroso in media annua.

Sottobacino	D	$\tau$	Tu'	Tu''	Tu <sub>med</sub>	Superficie	Vol. <sub>eroso</sub>	Suolo eroso	
*-*	km <sup>-1</sup>	*-*	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	mm/anno	
1	1,8	0,22	116,91	104,31	<b>110,61</b>	16,771	883,380	0,053	
2	1,62	0,29	101,00	91,29	<b>96,14</b>	16,286	745,627	0,046	
3	2,25	0,3	168,57	146,25	<b>157,41</b>	17,854	1338,284	0,075	
4	2,14	0,37	154,14	134,88	<b>144,51</b>	13,57	933,817	0,069	
5	2,48	0,33	203,23	173,79	<b>188,51</b>	14,211	1275,688	0,090	
					<b>697,19</b>	78,692	5176,796	<b>0,066</b>	

B. Alto Bussento	
Superficie totale (km <sup>2</sup> )	<b>78,692</b>
Trasporto solido medio annuo (T/km <sup>2</sup> )	<b>697,19</b>
$\gamma_{\text{medio}}$ suolo (T/m <sup>3</sup> )	2,1
Suolo eroso medio annuo (mm/anno)	<b>0,066</b>

**Tabella 13: Dati riassuntivi relativi al trasporto solido in uscita dal bacino dell'alto Fiume Bussento.**

Legenda: D = densità di drenaggio;  $\tau$  = gradiente medio di pendio; Tu' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (1); Tu'' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (3); Tu<sub>med</sub> = media dei valori di Tu' e Tu''; Vol<sub>eroso</sub> = volume di suolo eroso in media annua.

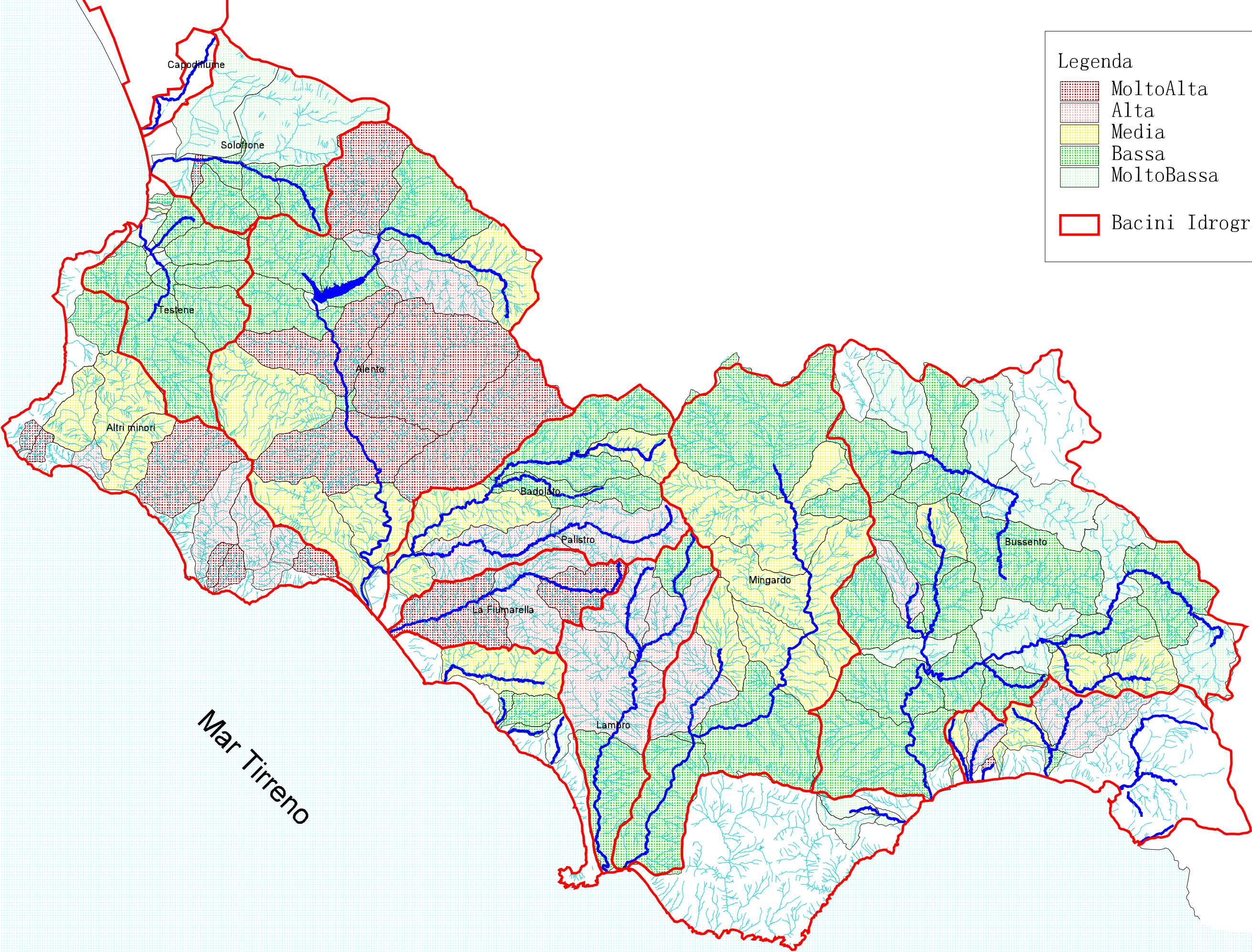
Sottobacino	D	$\tau$	Tu'	Tu''	Tu <sub>med</sub>	Superficie	Vol <sub>eroso</sub>	Suolo eroso
*_*	km <sup>-1</sup>	*_*	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	T/km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	mm/anno
1	2,43	0,24	195,13	167,14	<b>181,14</b>	32,435	2797,710	0,086
2	2,45	0,19	198,33	169,50	<b>183,92</b>	15,439	1352,152	0,088
3	2,54	0,18	213,39	181,27	<b>197,33</b>	9,338	877,464	0,094
4	1,75	0,13	112,26	100,32	<b>106,29</b>	5,427	274,679	0,051
5	2,87	0,14	279,06	231,83	<b>255,45</b>	14,666	1784,005	0,122
6	4,12	0,18	771,09	590,77	<b>680,93</b>	6,359	2061,918	0,324
7	2,25	0,2	168,57	145,99	<b>157,28</b>	10,39	778,143	0,075
8	3,13	0,22	344,76	282,00	<b>313,38</b>	11,323	1689,702	0,149
9	3,71	0,2	552,49	434,94	<b>493,72</b>	6,304	1482,093	0,235
10	1,94	0,25	131,01	115,89	<b>123,45</b>	15,887	933,921	0,059
11	2,61	0,19	225,89	191,05	<b>208,47</b>	7,27	721,694	0,099
12	2,17	0,072	157,95	137,19	<b>147,57</b>	0,652	45,817	0,070
13	3,17	0,18	356,16	290,35	<b>323,25</b>	7,863	1210,343	0,154
14	3,58	0,27	497,07	395,16	<b>446,12</b>	9,703	2061,269	0,212
15	2,66	0,31	235,26	198,76	<b>217,01</b>	9,668	999,075	0,103
16	1,75	0,28	112,26	100,60	<b>106,43</b>	12,503	633,639	0,051
17	2,35	0,22	182,84	157,38	<b>170,11</b>	18,052	1462,312	0,081
18	2,15	0,19	155,40	135,44	<b>145,42</b>	11,946	827,250	0,069
19	2,91	0,21	288,29	239,18	<b>263,73</b>	30,863	3876,007	0,126
					<b>4720,98</b>	<b>236,088</b>	25869,19361	<b>0,110</b>

Bacino del F. Basso Bussento	
Superficie totale (km <sup>2</sup> )	<b>236,088</b>
Trasporto solido medio annuo (T/km <sup>2</sup> )	<b>4720,98</b>
$\gamma_{\text{medio}}$ suolo (T/m <sup>3</sup> )	2,1
Suolo eroso medio annuo (mm/anno)	<b>0,110</b>

**Tabella 14: Dati riassuntivi relativi al trasporto solido in uscita dal bacino del basso Fiume Bussento.**

Legenda: D = densità di drenaggio;  $\tau$  = gradiente medio di pendio; Tu' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (1); Tu'' = trasporto torbido medio annuo calcolato con la relazione (3); Tu<sub>med</sub> = media dei valori di Tu' e Tu''; Vol<sub>eroso</sub> = volume di suolo eroso in media annua.

Erosione superficiale dei bacini imbriferi del territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Sinistra Sele



Legenda

	MoltoAlta
	Alta
	Media
	Bassa
	MoltoBassa
	Bacini Idrografici