

# INAUGURAZIONE

aula studio intitolata ai proff.  
**VITTORIO BIGGIERO E FABIO ROSSI**

Martedì 21 marzo 2023



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI NAPOLI FEDERICO II

Dipartimento di Ingegneria  
Civile, Edile e Ambientale



Recentemente, sia all'interno che nelle immediate adiacenze della Palazzina 8 del complesso di Via Claudio dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, già sede, oltre 40 anni fa, dei prestigiosi Istituti di Idraulica, di Costruzioni Idrauliche, di Ingegneria Sanitaria e di Geotecnica, e, tra le altre funzioni, attuale sede amministrativa del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, sono stati eseguiti massicci interventi manutentivi, finalizzati non solo all'ammodernamento tecnologico e funzionale della palazzina stessa ma, soprattutto, al miglioramento delle infrastrutture e degli spazi usufruibili dagli allievi. Tra i numerosissimi interventi eseguiti, è da annoverare, per la sua importanza strategica, la realizzazione, al terzo piano della palazzina, di una grande Aula-Studio, a disposizione non solo degli allievi che frequentano i Corsi di Studio triennali e magistrali incardinati presso il suddetto Dipartimento ma di tutti gli allievi che, a qualsiasi titolo, frequentano il complesso universitario di Via Claudio, trascorrendovi, spesso, molte ore della giornata, e formandovi il proprio patrimonio di conoscenze e di relazioni umane e professionali.

E' pertanto sembrata naturale l'intitolazione di tale Aula-Studio a due tra i Docenti del Dipartimento che, non solo per la loro valenza didattica e scientifica, ampiamente riconosciuta in Italia e all'Estero, ma anche per le loro doti umane e professionali hanno particolarmente onorato il ruolo di Professore Universitario nel campo delle Costruzioni Idrauliche e, più in generale, dell'Ingegneria Civile: I Professori **Vittorio Biggiero e Fabio Rossi**.

Ad essi, va il sentito ringraziamento di tutta la Comunità accademica per tutto quanto hanno saputo seminare, e per il profondo contributo che hanno saputo dare alla formazione e alla crescita di una Scuola della quale si sono avvalsi, e tuttora si avvalgono, generazioni di Docenti e di Tecnici sparsi sull'intero territorio nazionale.

# SOMMARIO

Programma	1
Articolo scientifico	2
Elenco pubblicazioni	27
Foto	31

# PROGRAMMA

Il giorno Martedì 21 marzo 2023, alle ore 12:00, sarà inaugurata l'Aula-Studio intitolata alla memoria dei Professori Vittorio Biggiero e Fabio Rossi, prestigiosi Docenti in forza, per decine di anni, all'Università di Napoli, poi trasformatasi in Università degli Studi di Napoli Federico II.

L'Aula è situata al terzo piano dell'Edificio 8 del complesso universitario di via Claudio 21, anche sede amministrativa del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università degli Studi di Napoli Federico II.

Un nuovo spazio di studio con oltre 50 postazioni, pronto ad accogliere gli studenti di Ingegneria non solo dei Corsi di Studio triennali e magistrali incardinati presso il Dipartimento ma di tutti gli allievi che frequentano il complesso universitario di Via Claudio.

Il locale si configura come un luogo inclusivo e versatile, ideale non solo per lo studio, ma anche per fare ricerca, per iniziative culturali e momenti di aggregazione.

# ARTICOLO

Per onorare la memoria di questi due grandi Maestri delle Costruzioni Idrauliche, che con la loro attività hanno dato lustro non solo all'Università di Napoli Federico II ma, più in generale, all'intero Mondo Accademico, creando una Scuola che si è andata via via diffondendo in tutto il Paese, si è ritenuto utile riportare, all'interno di questo piccolo opuscolo celebrativo, un articolo recentemente apparso sulla rivista "L'ACQUA", in cui sono sintetizzate, a mero titolo esemplificativo, le idee altamente innovative che, già oltre 30 anni fa, spingevano questi due Maestri, con l'ausilio di loro discepoli, all'approfondimento di tematiche, tuttora di grandissimo interesse concettuale ed applicativo, che prevedevano l'utilizzazione di metodologie e di tecniche tuttora assolutamente in linea con le più recenti vedute sull'argomento.

---

**Vittorio Biggiero<sup>(a,t)</sup>, Fabio Rossi<sup>(b,t)</sup>, Mauro Fiorentino<sup>(c)</sup>, Domenico Pianese<sup>(d)</sup>**

## **CRITERI DI INTERVENTO PER LA SISTEMAZIONE DEI TRATTI MONTANI DEI CORSI D'ACQUA, CON PARTICOLARE RIFERIMENTO AI PROBLEMI DI TRASPORTO SOLIDO.**

*Un esempio di applicazione ai Regi Lagni*

## **INTERVENTION CRITERIA FOR THE ARRANGEMENT OF THE MOUNTAIN SECTIONS OF RIVERS, WITH PARTICULAR REFERENCE TO SEDIMENT TRANSPORT.**

*An Example of Application to the Regi Lagni Basin*

---

(a)Professore ordinario, Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale "Girolamo Ippolito", Università degli Studi di Napoli Federico II, via Claudio, 21 - 80125 Napoli, Italia, †) scomparso il 21.03.2003; (b)Professore ordinario, Dipartimento di Ingegneria Civile, Università degli Studi di Salerno - Via Giovanni Paolo II, 132 - 84084 Fisciano (SA); scomparso il 03.01.2021, †); (c)Professore ordinario, Dipartimento delle Culture Europee e del Mediterraneo (DICEM), Via Lazizzera, 75100 Matera, Italia; (d)Professore ordinario, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Università degli Studi di Napoli Federico II, via Claudio, 21 - 80125 Napoli, Italia.

## ABSTRACT

*The mountain stretches of waterways are characterized by extremely intermittent liquid and solid flows. As a consequence, for the purposes of designing the interventions necessary to prevent the triggering of erosive or aggradation phenomena, it is not possible to refer to a single value of the discharge (defined as “modeling discharge” or “self-formative discharge”). The present work was developed over 30 years ago by a team of researchers led by two great Masters of Italian School of Hydraulic Engineering, Professors Vittorio Biggiero and Fabio Rossi, both passed away in the meantime. In it, a new method is presented for the evaluation, on a probabilistic basis and with the aid of physically based models, of the annual average solid transport capacity of the riverbed sections, the knowledge of which is an essential element for the identification and for the design of the interventions in the mountain branches of rivers. The methodology proposed in the work is applied to the case of the Regi Lagni, a set of mostly artificial channels, which are in extreme conditions of degradation and which would certainly get advantage of interventions aimed at ensuring their full hydraulic functionality.*

**Keywords: Hydraulic Arrangement of Mountain Basins, Techniques for Generating Meteoric Events, Sediment Transport, Regi Lagni.**

**Parole Chiave: Sistemazione idraulica di bacini montani, Tecniche di generazione di eventi meteorici, trasporto solido, Regi Lagni.**

## 1. INTRODUZIONE

The I Regi Lagni sono un articolato sistema di canali artificiali, realizzati, a partire dal 1539, dal Viceré di Napoli Don Pedro di Toledo, ed almeno in parte completati, nel 1610, dal Viceré di Filippo III di Spagna, Pedro Fernández de Castro, sotto la direzione dell’architetto Cesare Fontana (figlio del più famoso Domenico). La loro realizzazione fu pianificata, progettata ed eseguita al duplice scopo di porre fine allo sviluppo della malaria, che a quei tempi affliggeva vaste zone dell’entroterra campano, e di risolvere un problema che attanagliava, da secoli, la Campania Felix: le frequenti esondazioni dal fiume Clanio provocavano l’allagamento delle

campagne circostanti, martoriando le popolazioni locali e frenandone, oltremodo, lo sviluppo.

Il bacino sotteso dalla sezione di sbocco a mare presenta un'estensione di circa 1095 Km<sup>2</sup>, ed interessa ben 99 comuni della Città metropolitana di Napoli e delle province di Caserta, Avellino e Benevento.

I Regi Lagni, oltre a consentire la bonifica dell'agro campano, sono altresì destinati a raccogliere le "acque alte" provenienti da un esteso ambito montano che comprende i versanti dei Monti Tifatini, dei Monti di Avella, dei Monti di Sarno e del Monte Somma. Essi accolgono, attualmente, sia le acque piovane direttamente affluenti al bacino, sia le acque sorgive scaturenti dalla falda freatica e dalle varie falde artesiane sovrapposte presenti al di sotto del piano campagna nel substrato, sia le acque parzialmente trattate provenienti da 4 diversi grossi impianti di depurazione (gli impianti di Acerra, Napoli Nord, Marcianise-Area casertana e Foce Regi Lagni, destinati a trattare le acque reflue provenienti da circa 1.100.000 abitanti equivalenti), per poi convogliarle, al mare, tra la foce del fiume Volturno e il Lago di Patria, dopo un percorso di circa 55 Km.

All'interno del bacino complessivo, sono individuabili sei sottobacini principali afferenti ad altrettanti canali (o "lagni") dalla cui confluenza si origina e si compone l'asta dei Regi Lagni propriamente detta, della lunghezza, per l'appunto, di circa 55 Km.



Figura 1 - Bacino dei Regi Lagni e individuazione del reticolo principale (Pianese et al., 2001).

Nell'ordine, procedendo da est verso ovest e da sud verso nord, si incontrano: il bacino del Lago di Quindici (avente un'asta principale della lunghezza di circa 18 km), con i bacini minori dei Lagni Casamarciano, Santa Teresa, Santa Teresella e Costantinopoli; il bacino del Lago del Gaudio (avente un'asta principale della lunghezza di circa 13 km); il bacino del Lago di Avella (avente un'asta principale della lunghezza di circa 11 km), con i bacini minori dei Lagni Sasso e Boscofangone; il bacino del Lago di Somma (avente un'asta principale della lunghezza di circa 10 km), con i bacini minori dei lagni S. Maria del Pozzo e Macedonia; il bacino del Lago Spirito Santo (avente un'asta principale della lunghezza di circa 10 km); il bacino del Carmignano (avente un'asta principale della lunghezza di circa 17 km), con il bacino minore dell'Alveo Palata.

Il versante settentrionale del Monte Somma è drenato dai bacini dei lagni S. Teresa, Somma e Spirito Santo. I lagni di Quindici, del Gaudio e di Avella drenano i versanti compresi tra i Monti di Sarno e i Monti di Avella. Il bacino del Carmignano raccoglie, invece, i contributi dei Monti Tifatini.

L'asta terminale dei Regi Lagni si origina in corrispondenza della confluenza tra i lagni di Quindici e del Gaudio e procede, per circa 55 km, nella piana campana ricevendo, nell'ordine, in destra, il Lago di Avella, in sinistra, i lagni Somma e Spirito Santo e, nuovamente in destra, il Carmignano. In tale tratto, il corso d'acqua è interamente artificiale e pensile rispetto al piano campagna ed assolve alla funzione idraulica di smaltimento, verso il mare, delle sole "acque alte" e degli scarichi di troppo pieno a servizio delle reti di drenaggio urbano dei territori interessati.

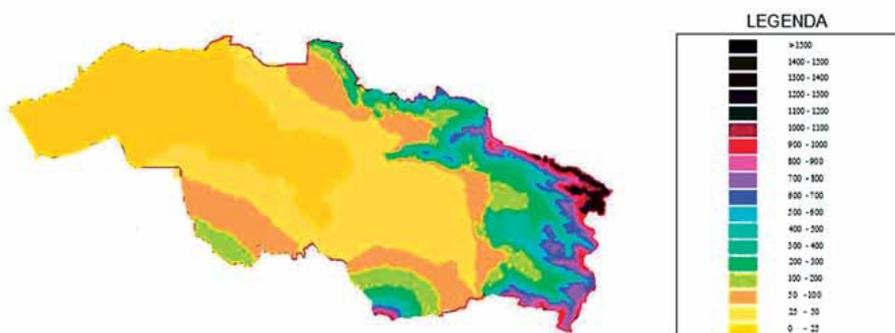


Figura 1 - Bacino dei Regi Lagni: Distribuzione altimetrica delle superfici (Pianese et al., 2001).

Le “acque basse” sono, invece, intercettate da due controfossi posizionati, rispettivamente, in destra ed in sinistra idraulica rispetto alle strutture arginali, e sollevate nel corso d’acqua principale da un sistema di idrovore distribuito lungo il tratto terminale dello stesso.

Lungo le aste dei lagni principali e prima del recapito del canale dei Regi Lagni sono altresì distribuite numerose vasche, con funzioni di laminazione e trattenimento del trasporto solido.

Infine, è presente un collegamento tra il fiume Volturno ed il canale dei Regi Lagni (Canale Fiumarella), che funge da scolmatore delle piene del primo nel secondo. Il recapito avviene in prossimità della foce. Per inciso, questo canale scolmatore fu riattivato, dopo anni di abbandono, grazie all’impegno e alla progettazione del Prof. Vittorio Biggiero.

La fertile pianura a nord del capoluogo campano trae beneficio da quest’insieme di opere di ingegneria idraulica, con la creazione e lo sviluppo di attività agricole e zootecniche uniche per pregio ed abbondanza. Oggi, quest’ampia zona a sud del fiume Volturno è, in gran parte, antropizzata e densamente popolata, con una popolazione residente di circa 1.800.000 abitanti.

Purtroppo, col passare del tempo, a seguito delle numerose attività produttive che vi si sono andate insediando, e dello smaltimento il più delle volte incontrollato di liquami e di rifiuti di ogni genere, questa eredità degli Spagnoli si è trasformata in un veicolo di liquami e rifiuti, con pesanti riflessi anche sull’inquinamento del mare e delle zone lacustri del Litorale Domizio. Tutt’oggi, gli argini dei canali e la battaglia

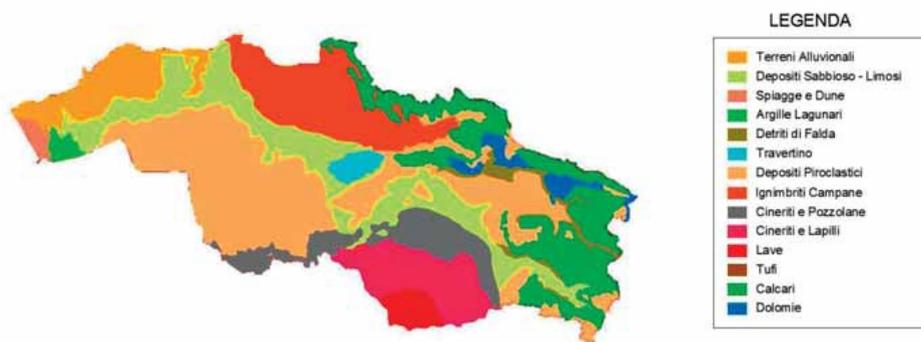


Figura 3 - Bacino dei Regi Lagni: Caratterizzazione geologica dei terreni di copertura (Pianese et al., 2001).

alla foce mostrano, spesso, i segni di ingenti sversamenti e contaminazioni, tanto che le acque dei canali appaiono spesso come fogne o discariche a cielo aperto più che corsi d'acqua drenata dai campi coltivati.

Nel 1973, l'infezione colerica giustificò l'avvio di pesantissimi interventi volti a conseguire un urgente riassetto igienico-sanitario dell'area: per tale motivo, molti dei canali di bonifica fecero da impianto di base per il progetto di raccolta e trattamento di reflui fognari. Vennero altresì realizzati i 4 "mega depuratori" di cui si è già detto in precedenza, che scaricano direttamente nel canale principale dei Regi Lagni. Gli impianti di trattamento avrebbero dovuto sanare "una volta per sempre" la situazione igienico-sanitaria delle acque di scolo e permettere ai napoletani di tornare ad usufruire del proprio mare nel loro golfo (Progetto Speciale n.3 della Cassa per il Mezzogiorno

di disinquinamento del golfo di Napoli).

Nel 1987, in base ad ingenti finanziamenti del CIPE con fondi sia della Legge 219 (quella emanata in seguito al sisma che aveva colpito vaste aree della Campania il 23 novembre 1980) sia della Comunità europea, furono avviati, concludendosi nel 1992, una serie di interventi di sistemazione idraulica che interessarono circa 150 Km di "lagni" (rivoli), 72 canali principali e 254 aste fluviali minori, nei comuni delle province di Caserta, Avellino e Benevento.

Ciò nonostante, l'efficacia di tali interventi venne, da lì a poco, seriamente compromessa dai vistosi fenomeni di interrimento, in parte sicuramente provocati dai rifiuti illegalmente smaltiti lungo i vari tratti d'alveo ma imputabili, per la maggior parte, ai vistosi fenomeni erosivi che si verificano lungo le aste montane, al trasporto di tale materiale solido lungo i tratti a maggiore pendenza e, quindi, al deposito dello stesso lungo l'asta principale, soprattutto a causa delle ridotte pendenze motrici a disposizione.

Tanto premesso, agli inizi degli anni '90 furono avviati, da parte di alcuni Enti, una serie di studi e di progettazioni finalizzate a valutare quali fossero le concrete possibilità di ridurre in modo cospicuo l'apporto solido da monte.

Allo scopo di dare una risposta scientificamente basata a questa rilevante esigenza, si decise di costituire, su base volontaria, un gruppo di lavoro formato dai componenti Prof. Vittorio Biggiero e Fabio Rossi nonché dagli scriventi Mauro Fiorentino e Domenico Pianese, finalizzato a individuare una o più metodologie che, sfruttando la crescente diffusione di personal computer sempre più potenti e a basso costo, e le più innovative conoscenze che si erano andate acquisendo nel campo dell'Idrologia, del Trasporto Solido e delle Sistemazioni Idrauliche, potessero consentire a tecnici

esperti di eseguire la “progettazione intelligente” di sistemi in grado di ridurre, fino a valori compatibili con le capacità di trasporto dei tratti medio-vallivi, il “Volume solido medio annuo” in arrivo dai tratti montani e, con esso, l’esigenza di ridurre la frequenza di costosi e, per molti versi, problematici interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, attraverso dragaggio, dei mhkmmateriali depositatisi lungo le aste principali. Tutto ciò premesso, nelle pagine che seguono, nel tentativo di fornire una palpabile testimonianza dello spirito innovativo e, almeno per quei tempi (si parla di oltre 30 anni fa!), assolutamente pioneristico, con cui quei due grandi Maestri, ai quali gli ultimi due scriventi hanno fatto costante riferimento nella loro vita, affrontavano con grande rigore metodologico temi di sicuro interesse applicativo, vengono qui riportati, quasi pedissequamente, i contenuti di una Relazione di Sintesi, datata Novembre 1992, nella quale gli scriventi davano conto, agli Enti territoriali preposti al controllo ed al governo del territorio (Regione Campania, Province di Napoli, Caserta ed Avellino, Consorzi di Bonifica, Uffici del Genio Civile, etc.), di una metodologia, fisicamente basata, per la valutazione dell’apporto solido medio annuo proveniente dal bacino a monte di una preassegnata sezione di interesse e per la progettazione di interventi, assolutamente eco-sostenibili per la sistemazione dei tratti montani dei corsi d’acqua.

## **2. PROBLEMATICHE DA AFFRONTARE**

I corsi d’acqua del bacino montano dei Regi Lagni mostrano solo brevi e radi tronchi in equilibrio, anche a causa delle forti pendenze e dei materiali presenti sul loro fondo e sulle loro sponde (materiali piroclastici debolmente coesivi, per quanto riguarda gli affluenti in sinistra idraulica; ghiaia e pietrischetto, per quanto riguarda quelli in destra idraulica). Nonostante le ridotte portate liquide che si realizzano durante gli eventi meteorici, tutti i tronchi posti più a monte presentano, infatti, accentuati fenomeni di erosione, tuttora in via di progressivo sviluppo; i tronchi vallivi, quelli cioè che sboccano, dopo percorsi più o meno lunghi, nel tratto medio-vallivo dei Regi Lagni, risultano, invece, in via di accentuato interrimento.

Questo secondo fenomeno è, ovviamente, legato alle escavazioni di monte ma anche, e diremo in modo dominante, alle portate che possono realizzarsi nell’alveo e ai valori piuttosto ridotti della pendenza nei tratti di pianura che precedono l’immissione nell’asta terminale dei Regi Lagni, nel senso che il materiale solido, trascinato dalle correnti nei tratti montani, viene di norma depositato nei tratti vallivi, sia per la pendenza ridotta di questi che per la loro incapacità di contenere le portate di piena, in seguito alla quale, a causa dello sfioro di una parte delle portate in arrivo,

le velocità delle correnti divengono ancora più basse di quelle che la diminuita pendenza, di per se stessa, ammetterebbe.

La situazione dianzi descritta risulta frequentemente aggravata dalla presenza di ponti e ponticelli di non adeguate dimensioni che, riducendo oltremodo la sezione idrica dei tratti attraversati, ostacolano il libero fluire delle acque ed accentuano, in particolar modo in occasione degli eventi meteorici di maggiore importanza, i processi di interrimento summenzionati.

Entrambi i fenomeni, sia di erosione che di interrimento, risultano ampiamente diffusi nei torrenti che affluiscono all'asta terminale dei Regi Lagni, e rivestono, dal punto di vista tecnico, enorme importanza, in quanto possono compromettere, nel primo caso, la stabilità delle opere realizzate, delle pendici, e l'esistenza delle colture, spesso di grande pregio, che sono ivi condotte, mentre, nel secondo caso, riducono l'efficienza delle sezioni idriche, accrescendo, via via, la possibilità di esondazioni.

Dei due fenomeni, il più difficile da controllare è, a tutt'oggi, il secondo.

I fenomeni erosivi di tipo generalizzato che si esplicano, attualmente, sul fondo alveo di alcuni dei tronchi da sistemare, possono essere, infatti, fortemente contenuti – se non proprio annullati - riducendo la velocità delle correnti, realizzando tratti a minore pendenza a mezzo di soglie e salti di fondo o di briglie di consolidamento, oppure accrescendo la capacità di resistenza del fondo alveo alle azioni erosive, rivestendolo ad esempio con pietrame alla rinfusa (cosiddetto rip-rap) o con pietrame di più piccole dimensioni contenuto in gabbionate metalliche bidimensionali (cosiddetti materassi), oppure con lastre continue di calcestruzzo di cemento debolmente armato, opportunamente forate per garantire gli scambi idrici con la falda sottostante e laterale.

Allorquando si sceglie il rivestimento in pietrame sciolto (il rip-rap), può risultare utile, anche se ne si effettua una compattazione, ridurre alquanto la pendenza naturale dell'alveo, così da poter utilizzare pietrame di più ridotte dimensioni. Ovviamente, potendo quest'ultimo essere rimosso dalle correnti di più elevata portata, potrà essere necessario stabilizzarlo disponendolo all'interno di gabbionate metalliche di limitato spessore, da utilizzarsi, come già indicato, a mo' di materassi. La realizzazione di soglie di fondo eviterà, peraltro, che, a causa degli elevati sforzi tangenziali che si raggiungono durante le piene, si possa avere, con lo spostamento del pietrame contenuto nei materassi, una accentuata ondulazione del letto, con conseguenti sforzi aggiuntivi che potrebbero eventualmente danneggiare la rete di contenimento.

I rivestimenti in pietrame sono da preferirsi incondizionatamente ai rivestimenti in lastre di calcestruzzo, per svariate ragioni. In primo luogo, appare opportuno richiamare l'impatto ambientale creato da un grosso canale in calcestruzzo, in grado di "squarciare", con la sua presenza, tutto il paesaggio circostante, laddove il rivestimento in pietrame, con il tempo (in genere, breve), si copre di erbe, confondendosi con il territorio.

Inoltre, il rivestimento in pietrame segue plasticamente i piccoli assestamenti del suolo, rispetto ai quali il rivestimento in calcestruzzo risponde con la rottura delle lastre e la sconnessione degli appoggi. D'altro canto, nel caso di rivestimento in pietrame, la certezza di essere di fronte a superfici a consistente scabrezza conduce a scegliere sezioni banchinate, facendo sì che le portate più modeste, che sono però le più frequenti, scorrano all'interno della savanella.

Con i rivestimenti cementizi si è spesso portati, in base a una presunta minore scabrezza delle superfici, a scegliere sezioni non banchinate o col fondo appena appena sagomato, dimenticando che, in questi casi, non si riesce affatto a mantenere sgombra da depositi l'intera sezione. In effetti, le correnti di piccola portata, vale a dire quelle che con maggiore frequenza si ritrovano in alveo, non risultano di norma sufficienti, a causa dei bassissimi sforzi di trascinamento derivanti dai loro modesti tiranti idrici, a rimuovere il materiale solido depositatosi durante le code delle piene. Esse, quindi, non tendono ad occupare tutta la sezione ma, al contrario, vengono a concentrarsi in una sezione più modesta, serpeggiando, da una sponda all'altra, all'interno dei depositi precedentemente formati, con tiranti idrici maggiori ma, proprio per questo, appena sufficienti a garantire il trasporto a valle del materiale solido rifornito da monte. Inoltre, a causa del frequente sviluppo di vegetazione al di sopra dei depositi, risulta ancora più evidente una tendenza, da parte del materiale solido in arrivo da monte, a depositare, con una riduzione di sezione che potrebbe risultare particolarmente pericolosa in occasione delle piene di maggiore entità.

I processi di interrimento possono controllarsi o riducendo l'apporto di materiale solido da parte delle correnti di piena oppure aumentando la capacità di convogliare il materiale solido rifornito dal bacino, sempre che a valle vi sia un opportuno ricettore (mare, lago o fiume).

Ridurre l'apporto di materiale solido significa, da un lato, contenere o annullare le erosioni che si verificano sul fondo dei tratti montani (il che può ottenersi con interventi del tipo di quelli già precedentemente descritti) e, dall'altro, impedire l'erosione dei versanti, eliminando, altresì, la instabilità delle pendici ed il franamento delle sponde.

I primi due effetti possono ottenersi operando in maniera diffusa su quasi tutto il bacino montano di raccolta, effettuando estese e laboriose campagne di rimboschimento delle pendici, realizzando vimate e fascinate che riducano il percorso e la velocità delle acque di origine meteorica, predisponendo il terreno a gradoni in modo da raccogliere le acque piovane su pianori poco penduti e avviarle alle canalizzazioni rivestite. Tale tipo di intervento risulta, tuttavia, poco efficace allorquando non risulti garantita una continua ed onerosa opera di rimboschimento e di manutenzione dei manufatti e, per tale motivo, non è preso in considerazione nell'ambito dei progetti di sistemazione. Il franamento delle sponde viene invece impedito, come si è già detto in precedenza, realizzando soglie di fondo (nel qual caso si impedisce soltanto che il fenomeno possa continuare a progredire) oppure una serie di briglie di consolidamento, aventi lo scopo di sollevare il fondo del tratto immediatamente a monte di esse in modo da ridurre sia il trasporto di materiale solido a valle che il rischio di smottamenti laterali. Tali briglie vengono realizzate, di norma, in numero relativamente elevato ed hanno, per tale motivo, un'altezza limitata, dell'ordine dei 2-3 m; di conseguenza, esse non sono, in genere, munite di bacino di dissipazione a valle.

Opere di questo tipo sono presenti, in maniera abbastanza diffusa, lungo i tratti montani di un considerevole numero di torrenti poi confluenti nell'asta terminale dei Regi Lagni, e la loro realizzazione ha dato, come nel caso del Lagno di Avella, risultati più che soddisfacenti. È da ritenersi, pertanto, che, ad eccezione di alcuni interventi localizzati (ricostruzione di qualche briglia attualmente dissetata, realizzazione di qualche briglia nei tratti in cui quelle già costruite risultino non del tutto sufficienti), non sia necessario realizzare molte di tali opere. Per impedire, almeno temporaneamente, il trasporto a valle del materiale solido che giunge da monte, vengono spesso impiegate briglie di trattenuta. Ovviamente, una volta che le volumetrie venutesi a realizzare al loro tergo siano state colmate dal materiale solido in arrivo, la funzione di queste briglie resta limitata alla riduzione della pendenza di fondo del tronco a monte.

Inoltre, durante tutto l'intervallo di tempo in cui la briglia non si è ancora riempita, nei tronchi d'alveo a valle possono verificarsi delle escavazioni anche notevoli, a causa della tendenza ad erodere delle acque ormai liberate dal materiale solito precedentemente convogliato. Se i quantitativi di materiale solido da trattenere sono notevoli e, come di norma avviene, le granulometrie del materiale sono abbastanza assortite, si preferisce fare ricorso ad un particolare tipo di briglie, che, per la funzione assoluta, vengono normalmente indicate come briglie selettive.

Rispetto alle briglie di trattenuta, esse presentano il notevole vantaggio di trattenere soltanto la frazione di maggiori dimensioni del materiale solido in arrivo da monte, per cui, mentre da un lato risultano ridotti sia i problemi di erosione a valle che di interrimento a monte, dall'altro, attesa la riduzione delle dimensioni del materiale che continua a procedere nei tronchi a valle, viene facilitato il trasporto di quest'ultimo fino al più vicino ricettore. Le briglie selettive agiscono in due modi diversi, a seconda che, assomigliando più a delle griglie, operino meccanicamente la trattenuta del materiale avente diametro maggiore di circa 2 volte lo spazio posto tra le barre, oppure, realizzando nel tratto a monte una sorta di vasca di sgrossatura munita, a valle, di strozzatura venturimetrica, che dia luogo alla decantazione di parte del materiale solido convogliato (ovviamente, prima e più lontano dalla strozzatura quello di maggiori dimensioni e, quindi, quello di dimensioni più ridotte). Il primo tipo di briglia selettiva risulta particolarmente utile nei casi in cui nell'alveo sia presente materiale di notevoli dimensioni (dell'ordine delle decine di centimetri) derivante da piccole frane o da fenomeni di cataclasi delle rocce, così come avviene nei torrenti alpini e, nel caso in esame, per l'Alveo Camaldoli. Il secondo tipo è, invece, quello da preferire nei casi in cui il materiale trasportato è, nella stragrande maggioranza, di dimensioni più ridotte, così come avviene nella maggior parte dei torrenti che ricadono nel bacino montano dei Regi Lagni.

### **3. VALUTAZIONE DELLE CAPACITÀ DI TRASPORTO MEDIA ANNUA**

#### ***3.1 Portate liquide di riferimento***

I corsi d'acqua naturali raggiungono il loro assetto in seguito a fasi di erosione e di deposito, che si succedono nel tempo e nello spazio a seconda che il rifornimento di materiale solido dal bacino a monte di un determinato tronco sia, rispettivamente, minore o maggiore della capacità di trasporto da parte della corrente.

In condizioni di equilibrio dinamico, vale a dire in una situazione in cui, mediamente in un numero di anni sufficientemente lungo, le erosioni vengono bilanciate dagli interrimenti, la capacità di trasporto risulta mediamente pari al rifornimento di materiale solido da monte.

In tali condizioni, la valutazione del trasporto solido viene di norma effettuata con riferimento a una situazione di moto permanente, prendendo in considerazione un unico valore della portata liquida (indicata, il più delle volte, come portata di modellamento) e un diametro caratteristico delle granulometrie trasportate. Ora, mentre l'individuazione di una portata indice rispetto alla quale riferire l'insieme dei processi di deposito e di erosione che presiedono al modellamento dell'alveo può

avere senso in corsi d'acqua naturali caratterizzati da una notevole perennità delle portate, altrettanto non può invece dirsi per corsi d'acqua che, come quelli ricadenti nel bacino montano dei Regi Lagni, sono caratterizzati da un regime spiccatamente torrentizio e da portate pressoché nulle (a meno di apporti sorgentizi) in assenza di piogge.

In questi ultimi, infatti, il trasporto di materiale solido, e quindi i fenomeni di erosione e di deposito, avviene in modo impulsivo, per cui l'utilizzazione di un valore unico della portata liquida da prendere a riferimento per la valutazione dei volumi solidi medi annui trasportati dalla corrente risulta del tutto priva di efficacia. Si ha, cioè, in corrispondenza dei diversi eventi meteorici, la formazione di correnti con portate e durate diverse, la cui possibilità di accadimento può essere valutata soltanto in termini probabilistici, con riferimento a valori mediati in un lungo periodo di anni.

Per tale motivo, allorché si voglia, come nel caso in esame, calcolare la capacità media annua di trasporto di materiale solido di corsi d'acqua a regime torrentizio, risulta conveniente fare riferimento, anziché ad un unico valore della portata liquida, alla curva media di durata delle portate liquide, che sintetizza, in maniera efficace, il processo stocastico di permanenza in alveo di assegnati i valori della portata liquida.

### ***3.2 Curve di durata delle portate liquide***

Ai fini della valutazione della capacità di trasporto solido globale media annua da parte di un preassegnato tratto di un corso d'acqua è richiesta la preventiva individuazione della curva di durata media delle portate (la valutazione, cioè, della durata per la quale una generica portata idrica è assicurata, mediamente ogni anno, nel tronco di fiume in esame).

Tutti i corsi d'acqua qui considerati hanno carattere prevalentemente torrentizio, con lunghi periodi dell'anno in cui la portata è molto scarsa o nulla.

Gli eventi di piena, prevalentemente concentrati nel periodo autunno-inverno, con qualche apparizione primaverile, si presentano, di norma, con durate molto brevi, dell'ordine cioè delle ore, e talvolta con portate al colmo di una certa entità.

Ne discende che le portate efficaci ai fini del movimento del materiale solido precedentemente depositatosi al fondo durano, di norma, ogni qualvolta che si verificano, solo alcune ore. Come è detto più avanti, occorre quindi valutare quante volte, mediamente, in un anno, si verifica una determinata portata e, ogni qualvolta ciò accada, quante ore, mediamente, essa permane. Non disponendo, su alcuno dei bacini imbriferi oggetto di studio, di stazioni idrometrografiche capaci di registrare in continuo

l'andamento delle portate liquide, si è ricorso alla costruzione di un modello matematico probabilistico che, a partire dall'informazione pluviometrica disponibile e dalle caratteristiche morfologiche dei singoli bacini, rendesse possibile la generazione di serie annuali di portate orarie, statisticamente equivalenti a quelle reali, per un numero di anni sufficientemente lungo da poter stimare, affidabilmente, le caratteristiche medie di tali portate.

Il modello per la generazione di eventi pluviometrici, del tutto originale (siamo nel 1992!), è stato costruito a partire da alcune ipotesi che oggi sono largamente accettate in Idrologia. Esso risulta alquanto differente da altri, già all'epoca presenti in letteratura (Rodriguez-Iturbe et al., 1987a), basati sulla produzione di impulsi rettangolari di tipo poissoniani (Rodriguez-Iturbe et al., 1987b; Cowpertwait, 1991; Cowpertwait, 1992), via via affinati (Onof e Wheeler, 1993; Cowpertwait, 1998; Heneker et al., 2001; Cowpertwait, 2004; Cowpertwait et al., 2004). Ne è stata poi verificata la concordanza con risultati dello Studio Idrologico finalizzato alla valutazione delle massime portate di piena, eseguito a parte e indipendentemente dall'approccio seguito.

L'informazione pluviometrica disponibile consentiva:

a) la conoscenza della curva di probabilità pluviometrica valida per l'intera zona montana dei Regi Lagni, e relativa al periodo di ritorno  $T = 50$  anni, fornita dalle espressioni

$$h_{d,T=50} = 46.65 d^{0.409}, \text{ valida per durate di pioggia } d < 3 \text{ ore} \quad (1)$$

$$h_{d,T=50} = 58.50 d^{0.203}, \text{ valida per durate di pioggia } d \geq 3 \text{ ore} \quad (2)$$

con  $d$  in ore e  $h_{d,T}$  in mm;

b) la conoscenza delle seguenti caratteristiche medie:

- numero medio annuo di giorni piovosi = 100;
- numero medio annuo di ore di pioggia = 400;
- stima  $L$  del numero medio annuo  $\Lambda$  di eventi di pioggia indipendenti = 40.

Ciò ha permesso di generare serie annuali di pioggia orarie, statisticamente equivalenti a quelle reali, avvalendosi delle ipotesi di seguito esposte:

- l'intervallo di tempo esistente tra due eventi di pioggia indipendenti (INT) è una variabile casuale, così come la massima precipitazione oraria all'interno di ciascun evento pluviometrico (H1);
- la distribuzione delle altezze di pioggia oraria (H1) all'interno di ciascun evento, sebbene casuale, è tale da rispettare, in media, per ciascun sub-intervallo di tempo, la pendenza della curva di probabilità pluviometrica;
- gli eventi di pioggia sono concentrati nel periodo settembre-aprile, con una maggiore probabilità di apparizione nei mesi centrali del periodo;
- le Funzioni di Distribuzione Cumulata sia dell'intervallo INT che della precipitazione oraria H1 sono di tipo esponenziale inversa ad un parametro, il quale coincide, per ciascuna delle funzioni, con le medie delle rispettive variabili. Lo stesso dicasi per la durata (DUR) di ciascun evento di pioggia.

Tanto premesso, le stime  $m(X)$  dei valori medi  $m_x$  atti a caratterizzare le distribuzioni di probabilità delle singole variabili  $X$  sono state ricavate nel seguente modo:

$$m(DUR) = \frac{\text{numero medio annuo di ore di pioggia}}{\text{numero medio annuo di eventi meteorici}} = \frac{400}{40} = 10 \text{ ore} \quad (3)$$

$$m_j(INT) = \frac{(\text{numero di ore del mese})_j - [m(DUR)(\text{numero di eventi meteorici del mese})_j]}{(\text{numero di eventi meteorici nel mese})_j} \quad (4)$$

con  $j = 1, 2, \dots, 12$  mesi

Per quanto riguarda la variabile aleatoria H1, la stima  $m(H1)$  del suo valore medio è stata effettuata avvalendosi del fatto che, almeno per periodi di ritorno non elevati, i massimi annuali delle precipitazioni orarie possono senz'altro ritenersi distribuiti secondo la ben nota legge di Gumbel con parametri  $\alpha$  ed  $\epsilon$ , e che l'inverso di  $\alpha$  rappresenta proprio il valore medio di H1.

Essendo, in relazione alle precedenti espressioni della curva di probabilità pluviometrica, il valore della pioggia oraria di periodo ritorno  $T = 50$  anni ( $H1, T = 50$ ) pari a 46.65 mm, può senz'altro porsi che

$$\epsilon_{H1} = \frac{H_{1,T}}{\{1 - k' \log_{10}[\ln(\frac{T}{T-1})]\}} \quad (5)$$

Essendo, a sua volta,

$$K' = \frac{1}{\log_{10} A} = \frac{\ln(10)}{\epsilon \alpha} \quad (6)$$

da cui

$$\widehat{K'} = \frac{1}{\log_{10} L} = \frac{\ln(10)}{\widehat{\epsilon} \widehat{\alpha}} \quad (6')$$

la stima  $\widehat{\epsilon}_{H_1}$  del valore modale  $\epsilon_{H_1}$  del massimo annuale dell'altezza di pioggia oraria potrà ricavarsi dall'espressione

$$\epsilon_{H_1} = \frac{46.65}{\left\{1 - \frac{1}{\log_{10} L} \log_{10} \left[ \ln \left( \frac{50}{49} \right) \right] \right\}} = 22.67 \text{ mm} \quad (7)$$

A sua volta, in base alla (6'), risulta

$$m(H_1) = \frac{1}{\widehat{\alpha}} = \frac{\widehat{\epsilon}}{\ln(L)} = 6.15 \text{ mm} \quad (8)$$

Con quanto premesso, si sono dapprima generate, secondo la ben nota Tecnica Montecarlo, mese per mese e per un periodo di 100 anni, le serie statistiche di ore di pioggia, classificate anno per anno da 1 a  $365 \times 24 = 8760$  ore. Dopodiché, ogni ora di pioggia è stata "marcata" da una altezza di pioggia.

In particolare, si è casualmente selezionata, per ciascun evento, l'ora in cui si verifica la massima precipitazione, e si è poi generata, sempre con tecniche Montecarlo, tale precipitazione.

Le restanti ore dell'evento di pioggia sono state riempite ricavando in base alla durata dell'evento il volume totale di pioggia e quello dei singoli sub intervalli (come si è detto, in maniera tale da rispettare, noto il valore generato di  $H_1$ , la pendenza della curva di probabilità pluviometrica) e distribuendo casualmente detti volumi nelle singole ore.

Procedendo in tal modo, si sono ricavate 100 serie annuali di pioggia orarie statisticamente equivalenti a quelle reali.

La trasformazione in deflussi degli afflussi generati è stata effettuata a mezzo di un modello lineare basato sull'ipotesi che la risposta del bacino a ciascun impulso di pioggia si ripetesse identica in ogni istante di tempo. Tale risposta si esprime, analiticamente, attraverso una funzione nota col nome di Idrogramma Unitario Istantaneo (IUH, dall'inglese Instantaneous Unit Hydrograph) che viene generalmente assunta essere di “tipo gamma”, così come suggerito da Nash (Nash, 1957).

Più precisamente, questo modello indica che ogni impulso di pioggia, di volume unitario e durata che tende a zero, produce una sequenza di portate elementari che, per ciascun tempo  $t$  misurato a partire dall'istante di occorrenza dell'impulso, sono fornite dalla relazione

$$u(t) = \frac{1}{K} e^{-\frac{t}{K}} \left[ \frac{1}{\Gamma(n)} \left( \frac{t}{K} \right)^{n-1} \right] \quad (9)$$

nella quale  $n$  rappresenta il numero di serbatoi lineari e stazionari, tra loro identici, disposti in serie, che costituiscono il modello concettuale (parametro di forma),  $k = tr/n$  è la costante di invaso (parametro di scala), con  $tr$  tempo di ritardo del bacino, e  $\Gamma(n)$  è la funzione gamma, calcolata con riferimento al valore assegnato ad  $n$ . Si osservi che, per  $n$  intero, risulta  $\Gamma(n) = (n-1)!$ , per cui la funzione gamma risulta essere una sorta di generalizzazione del fattoriale, valida anche nel caso in cui  $n$  non sia un intero.

Per i corsi d'acqua naturali, il parametro  $n$  risulta variabile tra 0.4 e 10 (Nash, 1957; Panigrahi, 1991; Adibi et al., 2010; Magar e Jothiprakash, 2014; Khanmohammadi e Behmanesh, 2017; Zhang e Niu, 2021). Uno spettro così ampio di valori non consentirebbe, in linea di principio, di effettuare una scelta veramente consapevole del valore del solo parametro  $n$ . Ciò in quanto, il valore di  $n$  è, evidentemente, troppo strettamente legato a quello del parametro  $k$  per poter decidere, liberamente, di utilizzare l'uno senza, contemporaneamente, fare riferimento all'altro (Bardossy, 2007). Di conseguenza, nelle pratiche applicazioni, è assolutamente necessario utilizzare sempre valori di  $n$  e di  $k$  calibrati, contemporaneamente, sugli stessi casi di studio. Tuttavia, a parità di valore del tempo di ritardo  $tr$ , il valore della portata al picco rimane poco influenzato dal numero  $n$  di serbatoi preso a riferimento e, con esso, anche i valori che si realizzano negli altri istanti. Questa osservazione consente,

una volta utilizzata una formula opportunamente calibrata per il tempo di ritardo  $t_r$ , risultando  $k = t_r / n$ , di poter scegliere il valore di  $n$  in modo abbastanza asettico. Di conseguenza, nel caso in esame, il valore di  $n$  è stato posto uguale a 1.5.

Per un evento di pioggia non impulsivo, avente cioè durata finita e non nulla, per la linearità del modello, la portata totale  $Q(t)$  che si verifica al tempo  $t$  è data dalla somma delle portate elementari  $q(t) = u(t-\tau)[p(\tau) d\tau]$  causate da ciascun volume elementare di pioggia efficace  $[p(\tau) d\tau]$  che si è verificato all'istante  $\tau < t$ .

Per ogni bacino di interesse, il tempo di ritardo  $t_r$  è stato valutato rielaborando in maniera originale la formula di Troutman e. Karlinger (1984)

$$t_r = \frac{l\sqrt{\pi N}}{c} \quad (10)$$

nella quale

- $l$  = lunghezza media dei segmenti e fluviali compresi tra 2 confluenze successive;
- $N$  = numero di aste fluviali del primo ordine (comprese, cioè, tra ciascun punto più estremo di monte e la primarelativa confluenza)
- $c$  = celerità media di propagazione della portata al colmo dell'idrogramma.

La (10), applicata nella sua formulazione originaria, risulta però legata all'ovvia incertezza connessa con la scala della cartografia di base utilizzata per valutare  $l$  ed  $N$ . È stata perciò trasformata utilizzando l'espressione empirica di Melton (1958), che segna la densità di drenaggio,  $DD$ , come

$$DD = \frac{\sqrt{N}}{\sqrt{(0.694A)}} \quad (11)$$

dove  $A$  è la superficie del bacino, e

$$m = 2N - 1 \quad (12)$$

È dimostrabile che, vista la topologia di un reticolo idrografico,  $M$  rappresenta il numero totale di segmenti fluviali. In base agli ovvi legami esistenti tra  $l$ ,  $A$ ,  $DD$  ed  $M$ , e con l'approssimazione  $M = 2N$ , giustificata dal fatto che, in generale,  $N$  è un numero molto grande, la (12), dopo semplici passaggi, diventi:

$$t_r = 1.5 \frac{\sqrt{A}}{c} \quad (13)$$

Questa relazione, di evidente semplicità applicativa, richiede la sola definizione della celerità media  $c$  che, nei corsi d'acqua naturali pedemontani, assume valori variabili di norma tra 1 e 1.3 m/s, raggiungendo 1.5-2 m/s solo per quei bacini più estremi di monte a pendenza media molto accentuata.

Con la metodologia esposta, è stato possibile definire, per ogni bacino di interesse, i parametri della (9) e, quindi, la funzione di trasformazione degli afflussi in deflussi. Per ciascun bacino, le 100 serie annuali di piogge orarie sono state così trasformate, secondo il modello esposto, in 100 serie annuali di portate medie orarie. Ovviamente, prima della trasformazione, le precipitazioni sono state depurate delle perdite per infiltrazione mediante l'utilizzazione di un coefficiente di deflusso. Tale coefficiente, usato tra l'altro per taratura, al fine di avere una concordanza con le valutazioni delle massime portate di piena, è sempre risultato di valore accettabile, giuste le caratteristiche geologiche dei bacini.

Una volta ricavate le serie simulate di 100 anni di portate pluviali, è stato possibile valutare media e scarto quadratico medio di ogni grandezza significativa (es. superamenti annui di una data portata, durata di tali superamenti, ...) e, in particolare, la media XMED e il coefficiente di variazione CVAR del rapporto tra i massimi annuali delle portate istantanee e l'area dei bacini sottesi (contributo unitario di piena). Pur non potendo disporre di riscontri oggettivi ai risultati così ottenuti, è da segnalare che questi ultimi presentano elementi in linea con quanto già noto con riferimento al comportamento statistico delle massime portate di piena.

In particolare, le serie generate mostrano il contemporaneo verificarsi da un lato di valori pressoché costanti di XMED e, dall'altro, di valori di CVAR oscillanti intorno all'unità indica che le portate al colmo degli idrogrammi generati sono probabilisticamente distribuite secondo una funzione di tipo esponenziale inversa. Ciò, come noto, comporta che i massimi annuali delle portate al colmo di piena generate sono distribuite secondo la legge di Gumbel, ipotesi sicuramente accettabile, almeno per periodi di ritorno non molto elevati.

### ***3.3 Modello matematico per l'individuazione della capacità di trasporto***

Una volta determinata, per ciascuno dei tronchi da sistemare, la curva media di durata delle portate liquide, si è proceduto alla valutazione della portata solida trasportata in corrispondenza di ciascun valore della portata liquida e, quindi all'individuazione dei volumi solidi medi annui trasportabili, a sistemazione effettuata, in ogni singolo tratto dei vari alvei.

A tale scopo, è stato messo a punto un modello matematico in base al quale il calcolo della portata solida totale viene effettuato, per ogni per ogni fissata coppia portata liquida-durata, suddividendo il trasporto solido globale in trasporto al fondo ed in trasporto in sospensione.

Nelle elaborazioni eseguite, si è ipotizzato che, in corrispondenza di ciascuna durata, il deflusso delle portate liquide avvenisse in condizioni di moto permanente, e che tanto la forma e le dimensioni delle sezioni trasversali quanto le pendenze longitudinali dei diversi tronchi d'alveo non variassero nel tempo. In tali ipotesi, il calcolo delle portate solide può essere effettuato utilizzando espressioni ben note in letteratura, fornite da alcuni autori in seguito ad estese ed accurate indagini di laboratorio, condotte in condizioni sperimentali sufficientemente prossime a quelle prese in esame nel presente lavoro.

Nei tratti d'alveo che saranno rivestiti in pietrame, per la presenza di uno strato di materiale che, pur di piccolo spessore, andrà a depositarsi dopo un certo numero di anni, per la valutazione del trasporto solido al fondo si è fatto riferimento alla formula di Meyer Peter e Muller (1948), nella formulazione di Chien (1954)

$$q_{sf} = 8 \sqrt{\left[ \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho} g d^3 \right]} (\tau^* - \tau_{cr}^*)^{\frac{3}{2}} \quad (14)$$

nella quale  $q_{sf}$  è la portata solida volumetrica al fondo per unità di larghezza dell'alveo;  $d$  è il diametro assunto a caratterizzare il materiale solido convogliato;  $\rho_s$  è la densità del materiale solido trasportato;  $\rho$  è la densità dell'acqua;  $g$  è l'accelerazione di gravità;  $\tau^*$  e il parametro di stabilità di Shields, definito come

$$\tau^* = \frac{\rho g R i}{(\rho_s - \rho)} \quad (15)$$

in cui, oltre ai simboli già introdotti, si è posto  $R$  il raggio idraulico ed  $i$  la pendenza di fondo alveo, mentre  $\tau_{cr}^*$  rappresenta il valore di  $\tau^*$  in corrispondenza del quale si ha l'inizio del moto delle particelle solide di diametro  $d$  e densità  $\rho_s$ .

Per i tronchi di canale sistemati con pareti in calcestruzzo, si è invece fatto riferimento, in luogo che all'espressione (15), all'espressione fornita da Novak e Nalluri (1984) per il trasporto di materiale solido sul fondo fisso e liscio

$$q_{sf} = 8 \sqrt{\left[ \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho} g d^3 \right]} \tau^{*2.04} \quad (16)$$

La (17) fornisce, nel caso di elevato trasporto solido, risultati sostanzialmente simili a quelli ricavabili in base alla formula di Meyer-Peter e Muller, ma da, come ci si aspetta, valori notevolmente maggiori per bassi valori della portata solida, vale a dire in condizioni non lontane da quelle per cui le particelle al fondo cominciano a muoversi.

La valutazione della portata solida in sospensione è stata effettuata utilizzando l'espressione approssimata della formula di Einstein fornita da Fredsøe e Deigaard (1992) in base alla quale risulta

$$q_{ss} = U^* C_b H \omega \quad (17)$$

dove i simboli hanno il seguente significato

$$\begin{aligned} \omega = & 8.5 \frac{a}{H(1-z)} \left[ \left( \frac{D}{a} \right)^{(1-z)} - 1 \right] + 2.5 \frac{a}{H(1-z)} \left\{ \left( \frac{D}{a} \right)^{(1-z)} \left[ \ln \left( \frac{D}{a} \right) + \frac{1}{(1-z)} \right] + \frac{1}{(1-z)} \right\} + \\ & + \frac{1}{s} \left[ 5.7 + 2.5 \ln \left( \frac{D}{a} \right) \right] \left( \frac{D}{a} \right)^{-z} \exp \left( \frac{sD}{H} \right) \left[ \exp \left( -\frac{sD}{H} \right) - (1+s) \exp(-s) \right] + \\ & + \frac{16.1}{s^2} \left( \frac{D}{a} \right)^{-z} \exp \left( \frac{sD}{H} \right) \left[ \left( 1 + \frac{sD}{H} \right) \exp \left( -\frac{sD}{H} \right) - (1 + \right. \\ & \left. + s) \exp(-s) \right] + 8.05 \left( \frac{D}{a} \right)^{-z} s^{-3} \exp \left( \frac{sD}{H} \right) \left\{ (s^2 + 2s + 2) \exp(-s) - \right. \\ & \left. \exp \left( -\frac{sD}{H} \right) \left[ \left( \frac{sD}{H} \right)^2 + \frac{2sD}{H} + 2 \right] \right\} \quad (18) \end{aligned}$$

$q_{ss}$  = portata solida volumetrica trasportata in sospensione per unità di larghezza dell'alveo;

$U = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$  = velocità di attrito al fondo;

a = spessore dello strato in cui il trasporto solido avviene per trascinamento sul fondo, assunto pari a 2 volte al diametro d delle particelle

$z = 2.5 \frac{w}{U^*}$  = numero di Rouse del trasporto solido, con w velocità di sedimentazione della particella di diametro d

H = profondità della corrente

D = 0,192 H

$$s = \frac{13w}{U^*}$$

La concentrazione volumetrica di riferimento  $C_b$  presente nell'espressione (18) è stata valutata mediante l'espressione fornita da Engelund e Fredsøe (1976)

$$C_b = 0.65 \left\{ 1 + 0.27 \frac{\rho_s}{\rho} \left\{ \tau^* - \tau_{cr}^* - \frac{\pi}{6} \left[ 1 + \frac{\pi}{6} \frac{1}{(\tau^* - \tau_{cr}^*)^4} \right] \right\} \right\}^3 \quad (19)$$

La condizione per cui le particelle di diametro d possono essere trascinate in sospensione è stata assunta essere

$$U_* \geq 0.8w \quad (20)$$

I calcoli sono stati effettuati suddividendo, come di norma è consigliato nel caso di sezioni mistilinee, la sezione idrica in due sottosezioni, la prima delle quali relativa alla savanella e, la seconda, alla zona laterale, banchinata. Si è poi proceduto a valutare, per ciascuna di esse, l'aliquota di portata liquida convogliata, il tirante idrico, il raggio idraulico e, quindi, in base alle espressioni (14) e (17) nel caso di pietrame, o alle espressioni (15) e (17) nel caso di fondo in calcestruzzo, la capacità di trasporto di materiale solido relativa a ciascuna coppia portata liquida-durata. L'integrazione numerica delle curve medie di durata delle portate solide così costruite ha permesso, infine, il calcolo della capacità media annua di trasporto di materiale solido da parte di ciascuno dei singoli tronchi sistemati. I risultati dei tali elaborazioni, una volta riportati in tabelle e abachi di rapida consultazione, hanno costituito un valido supporto per una corretta progettazione degli interventi di

sistemazione da realizzare al fine di raggiungere, tratto per tratto, “condizioni di equilibrio dinamico”, in virtù delle quali non avere, almeno mediamente su un periodo di tempo sufficientemente lungo, sensibili fenomeni di erosione o di deposito. In particolare, procedendo, per ciascuna asta fluviale del reticolo montano, da monte verso valle, essi hanno consentito, tratto per tratto, per ciascuno dei valori assegnati alla larghezza  $B$  dell’alveo, alla larghezza  $b$  e all’altezza  $H_s$  della sua savanella centrale, di individuare la capacità di trasporto solido media annua che è possibile conseguire assegnando, al tratto stesso, la pendenza longitudinale di fondo  $if$ .

Tali valori della capacità di trasporto solido medio annuo sono stati quindi confrontati con i valori del volume di materiale solido mediamente affluente dal bacino a monte, a loro volta stimati attraverso la formula dell’Universal Soil Loss Equation (Wischmeier e Smith, 1978), preventivamente calibrata prendendo a riferimento il volume di materiale solido depositatosi, in circa 5 anni, in alcune vasche realizzate lungo le varie aste fluviali già oggetto di intervento a partire dal 1986

$$E = R_e K_e L_b C_{us} P_{cs} \quad (21)$$

dove:  $E$  è la produzione di sedimenti media annua;  $R_e$  è un fattore di erosività potenziale dovuta alla pioggia;  $K_e$  è un fattore di erodibilità;  $L_b S_b$  è un fattore topografico legato alla lunghezza e alla pendenza del bacino;  $C_{us}$  è fattore legato all’uso del suolo;  $P_{cs}$  è un fattore legato alla presenza di interventi di conservazione del suolo. Dal confronto tra i due valori, è stato dunque possibile individuare la quaterna di valori ( $B$ ,  $b$ ,  $H_s$  e  $if$ ) in grado di garantire il conseguimento della desiderata condizione di equilibrio morfodinamico e, dunque, ridurre notevolmente gli oneri per interventi di manutenzione ordinari e straordinari dei Regi Lagni.

## 5. CONCLUSIONI

La sistemazione idraulica dei tratti montani e pedemontani dei corsi d’acqua richiede non solo la valutazione delle portate liquide e solide che possono affluire dai bacini a monte ma anche la valutazione delle capacità, da parte del sistema fluviale, di convogliare a valle, almeno mediamente in un lungo periodo di tempo, le portate solide che si producono nel bacino e che riescono ad essere, a loro volta, convogliate dai tratti più a monte. Nel presente lavoro, sintetizzante l’attività svolta, circa 30 anni fa, da un gruppo di lavoro spontaneamente costituitosi per lo studio di queste

problematiche, coordinato da due grandi Maestri delle Costruzioni Idrauliche, i Proff. Vittorio Biggiero e Fabio Rossi, è stata illustrata una metodologia di analisi, tuttora innovativa, basata su modelli idrologici fisicamente basati e sull'uso di specifiche conoscenze nel campo del trasporto solido e della morfodinamica fluviale, atta a consentire una valutazione sufficientemente accurata della capacità di trasporto solido media annua dei vari tratti di un sistema fluviale. La metodologia, pur richiedendo alcune conoscenze di base e la padronanza degli strumenti informatici, appare senz'altro facilmente applicabile in campo tecnico, e fornisce uno strumento particolarmente utile, ad esempio, sia per la valutazione delle pendenze da assegnare ai vari tratti affinché non si abbiano, almeno mediamente nel tempo, né fenomeni erosivi né fenomeni di deposito (meglio note come pendenze di equilibrio), sia per l'individuazione dei tratti in cui potrebbe essere necessario realizzare delle sezioni banchinate atte a consentire il convogliamento verso valle, all'interno della savanella, delle portate solide mediamente affluenti da monte, sia per la valutazione delle portate solide che possono affluire alle diverse tipologie di briglie.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

**Adib, A., Salarijazi, M., Vaghefi, M., Mahmoodian Shoostari, M., Akhondali, A.M.,** 2010. *Comparison between GcIUH- Clark, GIUH-Nash, Clark-IUH, and Nash-IUH models*, Turkish J. Eng. Env. Sci., 34, pp. 91-103.

**Bardossy, A.,** 2007. *Calibration of hydrological model parameters for ungauged catchments*, Hydrol. Earth Syst. Sci., 11, pp. 703-710.

**Chien, N.,** 1954. *The Present Status of Research on Sediment Transport*, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 1954, Vol. 80, Issue 12, pp. 1-33.

**Cowpertwait P. S. P.,** 1991. *Further developments of the NeymanScott clustered point process for modeling rainfall*. Water Resources Research., 27, pp.1431-1438.

**Cowpertwait, P. S. P.,** 1992. *Correction to "Further developments of the NeymanScott clustered point process model for modeling rainfall" by Paul S. P. Cowpertwait*. Water Resources Research, 29, p.1497.

**Cowpertwait, P. S. P.,** 1998. *A Poisson-cluster model of rainfall: Some high-order moments and extreme values*. Proc. Roy. Soc. A, 454, pp.885-898.

**Cowpertwait, P. S. P.,** 2004. *Mixed rectangular pulses models of rainfall*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 8, pp. 993-1000.

**Cowpertwait P. S. P, Isham V., Onof C.,** 2007. *Point process models of rainfall: Developments for fine-scale structure*. Proc. Roy. Soc. A, 463, pp. 2569-2587.

**Engelund F., Fredsøe J.,** 1976. *A Sediment Transport Model for Straight Alluvial*

- Channels*, Nordic Hydrology, 7, 1976, pp. 293-306.
- Fredsoe J., Rolf Deigaard R.**, 1992. *Mechanics of Coastal Sediment Transport*. World Scientific, 369 pp.
- Heneker T.M., Lambert, M.F. Kuczera, G.**, 2001. *A point rainfall model for risk-based design*. Journal of Hydrology, 247, pp. 54-71
- Khanmohammadi N., Behmanesh J**, 2017. *Comparison of Different Methods Efficiency for Estimation of Nash Instantaneous Unit Hydrograph Parameters in Flood Simulation (Case Study: Aland-Chay, Gara-Chay, Mahabad-Chay and Zab Rivers)*, Irrigation Sciences and Engineering (JISE) Vol. 43, No. 1, Spring 2020, Original Paper, pp. 15-28.
- Magar R.B., Jothiprakash V.**, 2014. *Nash IUH parameters estimation using method of moments - a case study*, Journal of Indian Water Resources Society, Vol 34, No.2, April, pp 1-8.
- Melton M.A**, 1958. *Geometric Properties of Mature Drainage Systems and Their Representation in an E4 Phase Space*, The Journal of Geology, 66, pp.35-54.
- Meyer-Peter E., Muller R.**, 1948. *Formulas for Bed Load Transport*. Proceedings of 2nd meeting of the International Association for Hydraulic Structures Research, Delft, 7 June 1948, pp. 39-64
- Nash J.E.**, 1957. *The form of the instantaneous unit hydrograph*. Int. Assoc. Sci. Hydrol, Publ. 3: pp. 114-121
- Novak P., Nalluri C.**, 1984. *Incipient motion of sediment particles over fixed beds*, J. Hydraul. Res. 22 (3), pp. 181-197.
- Onof C., Wheater H.S.**, 1993. *Modelling of British rainfall using a random parameter Bartlett-Lewis rectangular pulse model*. Journal of Hydrology, 149, pp.67-95
- Panigrahi R.K.**, 1991. *Derivation of Nash Model parameters from Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph*, Dissertation of Master of Engineering in Hydrology, University of Roorkee, Roorkee-247667 (INDIA)  
<http://shodhbhagirathi.iitr.ac.in:8081/jspui/image/pdf/web/viewer.html?file=/jspui/bitstream/123456789/3067/1/HYD245536.pdf>
- Pianese D., Belmare E., Longobardi D.**, 2001. *Analisi di specifiche situazioni di degrado della qualità delle acque in Campania, in riferimento ai casi che maggiormente incidono negativamente sulle aree costiere - Indagini sul Canale dei Regi Lagni*. Accordo di Programma ENEA-Ministero dell’Ambiente. Contratto ENEA - Università di Napoli Federico II (Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale *Girolamo Ippolito*). <http://www.bologna.enea.it/ambtd/regi-lagni/collringr.htm>

**Rodriguez-Iturbe I., Cox D.R., Isham V., 1987a.** *Some Models for Rainfall Based on Stochastic Point Processes.* Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences 410, pp. 269-288

**Rodriguez-Iturbe, I., B. Febres, De Power B., Valdes J.B., 1987b.** *Rectangular pulses point process models for rainfall: Analysis of empirical data.* J. Geophys. Res., 92 (8), pp.9645-9656.

**Troutman B. M., Karlinger M. R., 1984.** *Unit hydrograph approximations assuming linear flow through topologically random channel networks,* Water Resources Research, Volume 21, pp.743-754.

**Wischmeier W.H., Smith D.D., 1978,** *Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to conservation planning.* USDA Agriculture Handbook No.537, Sc. Ed. Admin., 55 pp.

**Zhang W., Niu J., 2021.** *Parameter estimation of Nash IUH for multiple storm events using particle swarm optimization method,* Journal of Physics: Conference Series, 2035, 0120, 7 pp.



Versione digitale dell'articolo

# ELENCO PUBBLICAZIONI

Si riporta, di seguito, l'elenco di alcune delle pubblicazioni del Prof. **Vittorio Biggiero**.

- Biggiero V. “Sistemazione della foce del torrente Savone”. Presentata al sesto convegno di idraulica e costruzioni idrauliche di Padova **1959**.
- Biggiero V. “Scaricatori a salto per reti di fogne”. Ingegneria Sanitaria n-4, **1961**.
- Biggiero V. “Sul tracciamento dei profili delle vene ‘liquide’”. VIII Convegno di Pisa, **1963**.
- Biggiero V. “Vene libere-allo-sbocco ‘di-canale’”. Fondazione-Politecnica per-il-Mezzogiorno d'Italia -Quaderno n. 3, **1964**.
- Biggiero V. “Giunto «Rapido» per tubazioni «Italtubi» -Prove-idrauliche: di tenuta”. Stab Tip. G. Genovese Napoli, **1964**.
- Biggiero V. “Scaricatori di fogna con luce sul fondo in alvei Norme di proporzionamento”.
- Biggiero V. “Scaricatori: di piena per fognature - criteri di progettazione”. Ingegneri 7-5, **1969**.
- Biggiero V. “Limitatori di portata con passaggio da deflusso a pelo libero ad efflusso a battente”. Fond Polit per il Mess. d'Italia. Quaderno 51, Napoli, **1970**.
- Biggiero V. “ Attenuazione: di onde gravitazionali: in canali; a servizio: di impianti industriali” Fond Polit per-il- Mass. d'Italia, Quaderno 51, Napoli, **1970**.
- Biggiero V. “Diffusione a mare da scarichi profondi”. Fond -Polit per-il- Mes. d'Italia Quad n 90, Napoli, **1974**.
- Biggiero V. “Influenza: di uno sfioro laterale sulla propagazione di onde gravitazionali in canali-che-sboccano-a mare”. "Fond -Poliz peri Mes. VE Quaderno.
- Biggiero V. “Influenza di uno sfioro laterale sulla propagazione di onde gravitazionali che sboccano a mare” .
- Biggiero V. “ Sviluppo delle irrigazioni in Campania”.
- Biggiero V., Galdi R. “Attenuazione mediante sfioro di onde gravitazionali”. Fond Polit. per il Mes d'Italia quad n. 116, **1978**.
- Biggiero V., Pianese D. “Gli sfioratori laterali nelle reti di drenaggio urbano”

- Biggiero V., Pianese D. “Spinte aggiuntive agenti sulle condotte sottomarine interrante per effetto del moto ondoso”.
- Biggiero V., Fiorentino M., Pianese D. “Analisi dell’evoluzione d’ alveo del tronco vallivo del fiume Volturno”. Atti di meeting annuale delle write operative e inserite nella ricerca M.U.R.S.T.
- Biggiero V., Fiorentino M., Pianese D. “Evoluzione d'alveo nel Fiume Volturno”. XXIV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Napoli, Vol. II T4-223-14-246, 20-22 Settembre **1994**.
- Biggiero V., Del Giudice G., Della Morte R. “Trasporto solido nei tratti focali”. XXIV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Napoli Vol. II p. 74-219-14-233, 20-22-Settembre **1994**.
- Biggiero V., Longobardi D. “Analisi sperimentale del comportamento idrico degli sfioratori laterali a bassa soglia”.
- Biggiero V., Pianese D. “Sul proporzionamento delle reti di bonifica”. Serviti in onore di Mario Ippolito Napoli, 16-17 maggio **1996**.
- Biggiero V., Longobardi D., Pianese D. “Indagine sperimentale su comportamento sfioratori laterali a soglia bassa”. Giornale del Genio Civile Fasc.7-8-8-9, luglio, agosto e settembre, **1994**.
- Biggiero V., Della Morte R. “Tempi di rimozione di depositi granulari nei canali rivestiti”. Dipartimento di Ingegneria Idraulica Ambientale Girolamo Ippolito, aprile **2000**.
- Biggiero V., Della Morte R., Pianese D. “Trasporto di sedimenti nei canali e nei tratti rivestiti” Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale Girolamo Ippolito, aprile **2000**.
- Oliveto G., Biggiero V., Fiorentino M. “Caractéristiques hydrauliques de l'écoulement torrentiel dans des déversoirs latéraux prismatiques”. Journal of Hydraulic research, vol. 39, n. 1, **2001**.

Si riporta, di seguito, l'elenco di alcune delle pubblicazioni del Prof. **Fabio Rossi**.

- Rossi F. “Criteri di similitudine idrologica per la stima della portata al colmo di piena corrispondente ad un assegnato periodo di ritorno”. Proceedings of the XIV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, **1974**.
- Rossi F., Silvagni G. “Analysis of annual runoff series”. Proceedings of the third IAHR Symposium on Stochastic Hydraulics, **1980**.
- Versace P., Fiorentino M., Rossi F. “Analysis of flood series by stochastic models”. Developments in Water Science, **1982**.
- Rossi F., Versace P. “Criteri e metodi per l’analisi statistica delle piene”. Valutazione delle piene. CNR - Progetto Finalizzato Conservazione del Suolo, **1982**.
- Rossi F., Fiorentino M., Versace P. “Two-component extreme value distribution for flood frequency analysis”. Water Resources Research, **1984**.
- Fiorentino M., Versace P., Rossi F. “Regional flood frequency estimation using the two-component extreme value distribution”. Hydrological Sciences Journal, **1985**.
- Pianese D., Rossi F. “Curve di possibilità di laminazione delle piene”. Giornale del Genio Civile, **1986**.
- Pianese D., Rossi F. “Reservoir storage-flood peak attenuation relationships”. Excerpta of the Italian Contributions to the Field of Hydraulic Engineering, **1986**.
- Fiorentino M., Gabriele S., Rossi F., Versace P. “Regional flood frequency analysis using the two-component extreme value distribution. A key reference abstract”. Excerpta of the Italian Contributions to the Field of Hydraulic Engineering, **1987**.
- Fiorentino M., Rossi F., Villani P. “Effect of the basin geomorphoclimatic characteristics on the mean annual flood reduction curve”. Proceedings of the IASTED International Conference, Modeling and Simulation, **1987**.
- Fiorentino M., Gabriele S., Rossi F., Versace P. “Hierarchical approach for regional flood frequency analysis”. International symposium on flood frequency and risk analyses, **1987**.
- Rossi F., Siccardi F. “Coping with floods: the research policy of the Italian Group for prevention from hydrogeological disasters”. Workshop on Natural Disasters in European-Mediterranean Countries, **1988**.

- Pianese D., Rossi F. “Aggradation and grain sorting in gravel-bed streams”. International symposium on river sedimentation, **1989**.
- Pianese D., Rossi F. “Mathematical modelling of morphological variations in mountain streams”. Excerpta of the Italian Contributions to the Field of Hydraulic Engineering, **1990**.
- Murrone F., Rossi F., Claps P. “A conceptually-based multiple shot noise model for daily streamflows”. Stochastic Hydraulics, **1992**.
- Claps P., Rossi F., Vitale C. “Conceptual-stochastic modeling of seasonal runoff using autoregressive moving average models and different scales of aggregation”. Water Resources Research, **1993**.
- Rossi F., Villani P. “Valutazione delle piene in Campania”. Gruppo nazionale per la difesa dalle catastrofi idrogeologiche, Linea 1, **1994**.
- Rossi F., Villani P. “Regional flood estimation methods”. **1994**.
- Furcolo P., Villani P., Rossi F. “Statistical analysis of the spatial variability of very extreme rainfall in the Mediterranean area”. Proceedings Workshop on the Hydrometeorology, Impacts and Management of extreme floods, **1995**.
- Rossi F., Chirico G.B. “Definizione delle soglie pluviometriche d’allarme”. National Group for Defence from Hydrogeological Catastrophes - National Research Council (GNDCI - CNR), **1998**.
- Rossi F., Villani P., Furcolo P. “Un approccio state-space per la previsione in tempo reale delle precipitazioni”. Proceedings of the XXVIII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, **2001**.
- Rossi F., Tropeano R., Furcolo P., Guida D., Villani P. “The effect of orography on extreme rainfall: a simplified meteo-morphological model”. Geophysical Research Abstracts, **2005**.
- Pianese D., Rossi F. “Morphological changes and grain sorting in mountain gravel-bed streams”. Fluvial Hydraulics of Mountain Regions, **2005**.
- Furcolo P., Pelosi A., Rossi F. “Statistical identification of orographic effects in the regional analysis of extreme rainfall”. Hydrological Processes, **2016**.
- Pelosi A., Furcolo P., Rossi F., Villani P. “The characterization of extraordinary extreme events (EEEs) for the assessment of design rainfall depths with high return periods”. Hydrological Processes, **2020**.

# FOTO



Prof. Vittorio Biggiero



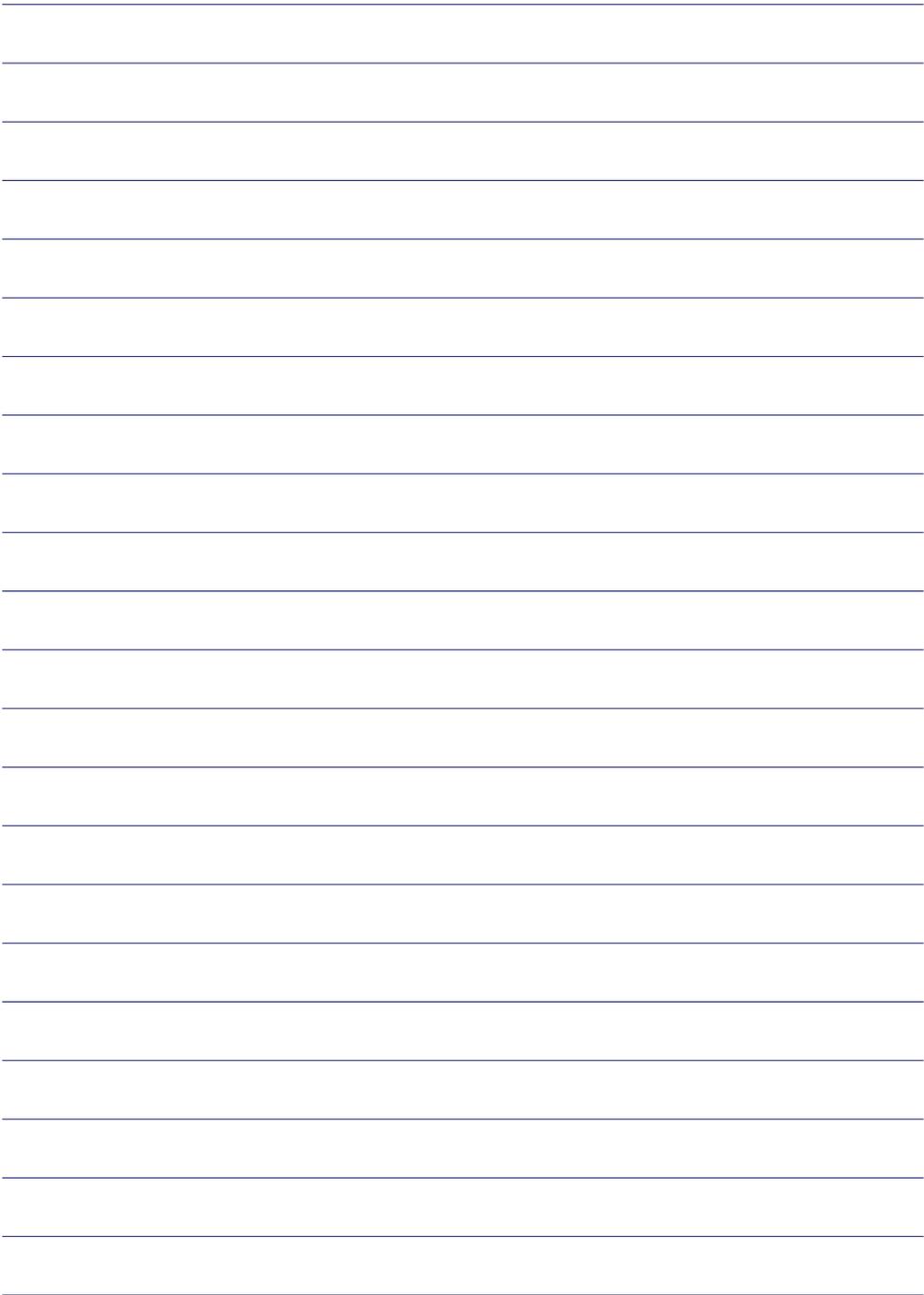
Prof. Fabio Rossi

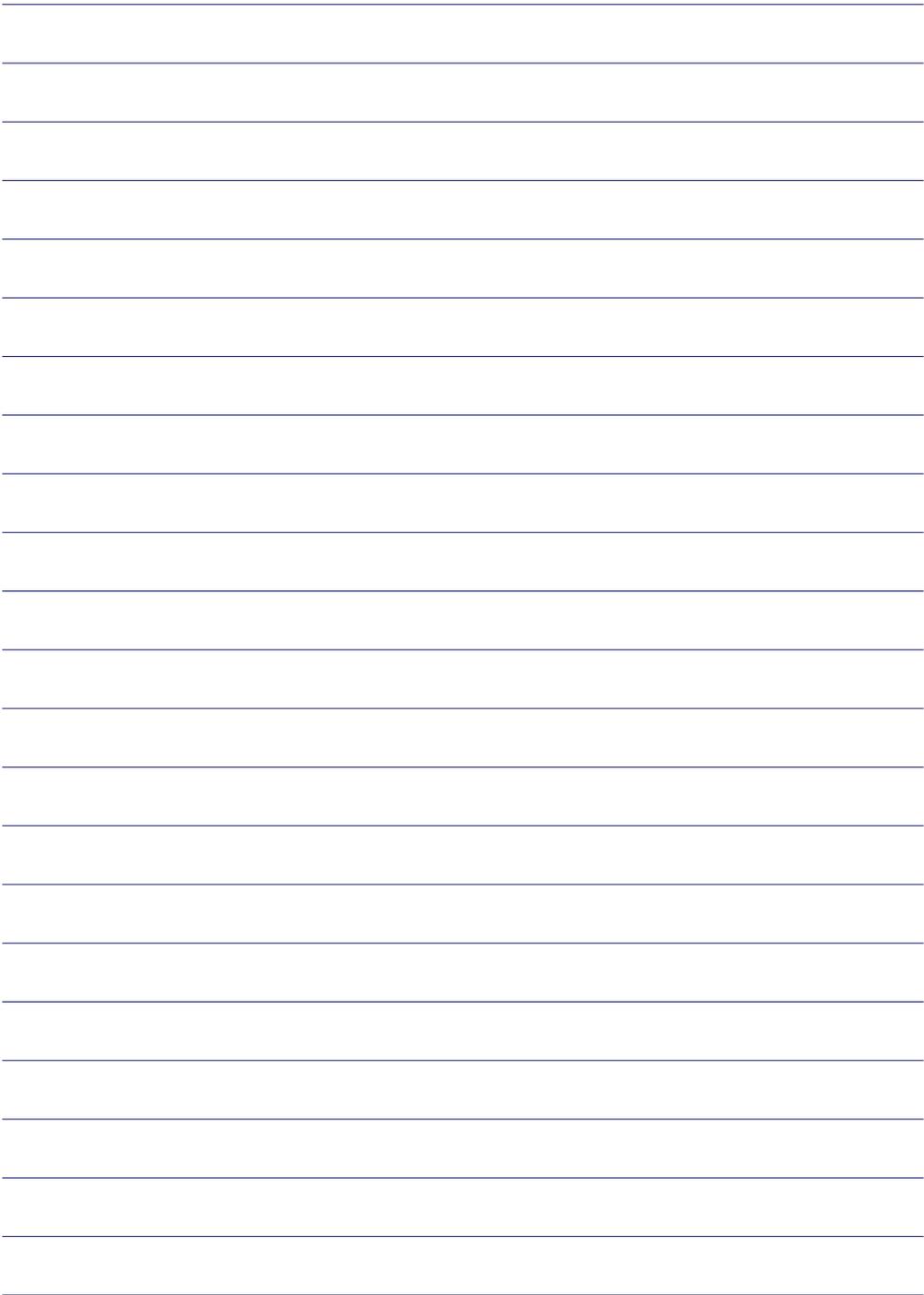


Prof. Vittorio Biggiero



Prof. Fabio Rossi





# **A cura di**

Prof. Ing. Domenico Pianese

*Editing* curato dagli Ingg.  
Dina Pirone e Angelo Avino

Stampa realizzata a cura e col contributo del  
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale  
dell'Univesità degli Studi di Napoli Federico II

via Claudio 21 – 80125 (Napoli)  
Edificio 8, III piano – scala B  
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale  
Università degli Studi di Napoli Federico II

