

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI “FEDERICO II”**

*in consorzio con*  
**SECONDA UNIVERSITÀ DI NAPOLI**  
**UNIVERSITÀ “PARTHENOPE” NAPOLI**  
*in convenzione con*  
**ISTITUTO PER L’AMBIENTE MARINO COSTIERO – C.N.R.**  
**STAZIONE ZOOLOGICA “ANTON DOHRN”**

Dottorato in Scienze ed Ingegneria del Mare  
XVII ciclo

Tesi di Dottorato

## **Analisi di Rischio idrogeologico in area costiera**

Candidata: Dott. Ing. Chiara Biscarini

Relatore: Prof. Ing. Michele Di Natale

Co-Relatore: Dott. Eliana Esposito  
Dott. Sabina Porfido

Il Coordinatore del Dottorato: Prof. Bruno D’Argenio

ANNO 2005

## INDICE

1	RISCHIO IDROGEOLOGICO IN AREA COSTIERA	2
1.1	DEFINIZIONE DEL PROBLEMA	2
1.2	DEFINIZIONI DI BASE	7
1.3	TIPI DI DANNO	15
1.3.1	Danno Attuale e Potenziale	15
1.3.2	Danno tangibile, intangibile, diretto ed indiretto	16
1.4	MODELLO TECNICO-ECONOMICO	18
1.5	PROGETTAZIONE DI OPERE DI DIFESA - SCELTA OTTIMALE	20
1.5.1	Interventi strutturali	20
1.5.2	Non strutturali	21
1.6	METODOLOGIA	22
1.7	BIBLIOGRAFIA	27
2	FASE CONOSCITIVA	30
2.1	INQUADRAMENTO DEL SISTEMA COSTIERO	30
2.1.1	Sistema fluviale – costiero	31
2.1.2	Classificazione delle coste	33
2.2	DATI DI BASE	34
2.2.1	Le fonti storiche	34
2.2.2	Tipo e uso delle aree interessate da potenziale inondazione	43
2.2.3	Dati spaziali	43
2.2.4	Tipologia e destinazione d’uso	44
2.2.5	Stima del valore del bene	46
2.3	SISTEMA INFORMATIVO GEOGRAFICO	56
2.3.1	Scheda per il censimento dei beni architettonici	58
2.4	BIBLIOGRAFIA	61
3	FASE DI ANALISI	64
3.1	IL QUADRO DEI DANNI INDOTTI DALL’ALLUVIONE NELLA BASSA VALLE DEL TORRENTE BONEA	64
3.1.1	Lo scenario dei danni a Molina e Marina di Vietri	75
3.2	LE ALLUVIONI STORICHE	81
3.2.1	Ricerca delle fonti	81
3.2.2	Eventi alluvionali nella provincia salernitana a partire dal 1700	82
3.3	INDAGINI GEOLOGICHE	85
3.3.1	3.4.1 Geologia della fascia costiera salernitana	88
3.3.2	Principali caratteri orografici del bacino del Torrente Bonea	89
3.3.3	Fenomeni geologici indotti	90
3.4	RISCHIO IDRAULICO	92
3.4.1	Vulnerabilità	93
3.4.2	Definizione del grado di vulnerabilità	103
3.5	ANALISI FLUIDODINAMICA	104
3.6	BIBLIOGRAFIA	106
4	ANALISI FLUIDO DINAMICA	109
4.1	INTRODUZIONE	109
4.2	FORMULAZIONE MATEMATICA	111
4.2.1	Ipotesi del continuo	111
4.2.2	Approccio euleriano e lagrangiano	113
4.2.3	Il problema fluidodinamico	114
4.2.4	Equazione di stato	115
4.2.5	Equazione di continuità	118
4.2.6	Equazione di conservazione della quantità di moto	119
4.2.7	Equazione dell’energia	121
4.2.8	Turbolenza e modelli di turbolenza	122
4.2.9	Fluido Multifase – multicomponente	126

4.2.10	Modello VOF (Volume of Fluid )	127	
4.2.11	Relazioni costitutive	128	
4.2.12	Forma generale dell'equazione di bilancio	128	
4.2.13	Condizioni iniziali ed al contorno	129	
4.3	SCHEMA NUMERICO	131	
4.3.1	Schema ai volumi finiti	132	
4.3.2	Griglie di calcolo	135	
4.3.3	Discretizzazione temporale	141	
4.3.4	Schema VOF nel codice di calcolo CFD	141	
4.3.5	Algoritmi di risoluzione	144	
4.3.6	Diversi tipi di solver	146	
4.4	BIBLIOGRAFIA	148	
5	Onde impulsive generate da frane		151
5.1	ORIGINE E GENESI DELLE ONDE IMPULSIVE	151	
5.2	DEFINIZIONE DEL PROBLEMA	160	
5.3	REVISIONE CRITICA DELLA LETTRATURA	162	
5.3.1	Osservazione di onde impulsive generate da frane.	162	
5.3.2	Conclusioni dalle osservazioni	164	
5.3.3	Conclusioni dagli studi effettuati	165	
5.3.4	Identificazione del "research gap"	166	
5.3.5	Obiettivi dello studio	166	
5.4	CALIBRAZIONE E VALIDAZIONE	168	
5.4.1	Introduzione	168	
5.4.2	Analisi PIV di onde impulsive generate da frana	169	
5.4.3	Analisi numerica	172	
5.4.4	Confronto dei risultati	174	
5.5	RISULTATI	178	
5.5.1	Movimento subacqueo della frana	178	
5.5.2	Generazione dell'onda	181	
5.5.3	Separazione del flusso	183	
5.5.4	Simulazione con $F \ll 1$ : flusso non separato	187	
5.5.5	Tipi di cratere d'impatto idrodinamico	190	
5.5.6	Simulazioni con $F > 1$ : flusso separato	195	
5.6	CASO DI STUDIO: MEGA-TSUNAMI, 1958 BAIA DI LITUYA		203
5.6.1	Analisi del fenomeno	203	
5.6.2	Simulazione fluidodinamica della generazione dell'onda nella baia di Lituya		205
5.7	BIBLIOGRAFIA	214	
A.	APPENDICE: IL CASO DI STUDIO DI VIETRI SUL MARE	219	
A.1	L'AMBIENTE LITORALE DI VIETRI SUL MARE	219	
A.2	L'EVENTO ALLUVIONALE DELL'OTTOBRE 1954	221	
A.3	BIBLIOGRAFIA	229	
B.	APPENDICE : SCHEDE	232	
C.	APPENDICE : CASI OSSERVATI DI ONDE GENERATE DA FRANE		291
C.1	ONDE GENERATE DALL'IMPATTO DI UNA FRANA SUBAEREA		292
C.1.1	Baia di Lituya, Alaska	292	
C.1.2	Lago di Yanahuin, Peru	296	
C.1.3	Tafjord, Norvegia	298	
C.1.4	Loen Lake, Norway	301	
C.1.5	Lago di Uri, Svizzera	303	
C.1.6	Vulcano Unzen, Giappone.	306	
C.1.7	Lago di Spirit, Monte St. Helens	308	
C.2	ONDE GENERATE DA FRANE PARZIALMENTE SOMMERSE	3	10
C.2.1	Diga del Vajont, Italia.	310	
C.2.2	Ritter Island, Papua New Guinea	315	

C.2.3 Vulcano Krakatau, Indonesia 316  
C.3 Bibliografia

318

## SOMMARIO

Negli ultimi decenni le molteplici problematiche connesse ai rischi naturali, in particolare quelle relative alle catastrofi idrogeologiche, sono state oggetto di crescente interesse da parte non solo della comunità scientifica ma anche delle pubbliche amministrazioni competenti. In conseguenza dell'alto impatto causato da tali fenomeni ed in seguito a tragici eventi, si è dato avvio ad un'analisi conoscitiva di rischio su tutto il territorio nazionale con lo scopo di giungere ad una sua mitigazione attraverso azioni di prevenzione e previsione.

Il presente lavoro di tesi, che si inserisce in questo contesto, riguarda l'analisi delle problematiche connesse ad eventi alluvionali in zona costiera e si suddivide in sei sezioni principali relative ad analisi di rischio attuale e potenziale. Le metodologie e i modelli descritti sono stati sviluppati e applicati alla zona costiera di Vietri sul Mare in riferimento all'alluvione dell'ottobre 1954 e si inseriscono in un ampio lavoro di ricerca, effettuato nel corso dei tre anni di dottorato in collaborazione con l'Istituto per l'Ambiente marino Costiero IAMC e la Facoltà di Ingegneria della II Università di Napoli.

Nella parte introduttiva è illustrata l'importanza di un'analisi scientifica approfondita delle condizioni di rischio delle zone costiere italiane con l'intento di elaborare modelli numerici e sperimentali che ne permettano la prevenzione e la mitigazione. A questo proposito, vengono introdotti e illustrati i concetti fondamentali per la trattazione: il rischio, il pericolo e il danno in relazione ad eventi naturali calamitosi.

Per molto tempo, l'approccio tradizionale al problema si è basato su una valutazione ex-post del danno prodotto a seguito di eventi reali (danno attuale). Tale metodo, basato sull'esame e registrazione delle conseguenze dell'inondazione dopo l'evento, presenta tuttavia vari limiti. Infatti la registrazione accurata dei danni a posteriori è difficoltosa e soggettiva. Inoltre, la valutazione di misure per la mitigazione della piena non è normalmente possibile valutando un singolo evento, essendo esclusa la possibilità di produrre dati per progetti che prevedano protezione da eventi di maggiore entità.

Negli ultimi anni, si è andata quindi affermando l'esigenza di una valutazione ex-ante dei danni, basata cioè sul valore atteso del danno (danno potenziale) per eventi di assegnata probabilità di accadimento, che sia di supporto alla fase decisionale in numerosi campi applicativi, dalla pianificazione territoriale, alla protezione civile fino alla progettazione di misure strutturali di mitigazione. Tale metodologia non fa affidamento sulla necessità di un evento calamitoso ed è quindi applicabile in maniera generale a qualsiasi area, incluse quelle in cui l'evento non è mai

avvenuto. L'analisi ex-post è comunque necessaria per l'assunzione di dati sotto forma di dati standard.

Alla luce dei concetti introdotti, si illustrano i possibili approcci individuati e sviluppati in collaborazione nel corso del dottorato di ricerca per lo studio di un fenomeno di questo tipo (storico-archivistico, geologico-geofisico, idrologico-idraulico sia numerico che sperimentale).

L'Analisi ex post (danno attuale) comprende:

La parte relativa alla ricostruzione dell'evento alluvionale tramite rilievi geologici della fascia costiera con informazioni riguardanti i settori emersi e le prospicienti aree marine. E' quindi illustrata la metodologia per l'utilizzo delle indagini effettuate a terra al fine di ricostruire dettagliatamente i caratteri geologici strutturali del substrato e delle relative coperture recenti e dei rilievi nell'offshore per ricostruire la sequenza deposizionale presente nelle aree marine. Ciò è stato possibile, nel caso di studio realizzato e illustrato in seguito, grazie a metodologie geofisiche (sismoacustici, batimetrici e sidescan sonar) e prelievi di campioni di fondo e sottofondo. Tale approccio integrato consente di tracciare l'evento alluvionale nelle zone di offshore attraverso il riconoscimento dei depositi e strutture ricollegabili a flussi iperpicnali la cui origine risiede nel materiale alluvionale recapitato alla foce.

La parte di analisi sistematica delle fonti storiche nella quale vengono illustrate le tecniche utilizzate per il trattamento dei dati storici provenienti da diverse fonti: tecnico – scientifiche, monografie, notizie di quotidiani, periodici, provvedimenti legislativi, atti amministrativi, testimonianze dirette e fonti fotografiche provenienti da collezioni pubbliche e private, la cui analisi ha consentito la ricostruzione della dinamica degli eventi storici in relazione ai danni prodotti ed agli effetti sul territorio. Per la raccolta dati, generalmente successiva ad una fase di catalogazione ed archiviazione (definizione di schede di censimento, ecc.), è stata sviluppato un database su supporto informatico, in maniera tale da rendere facile la gestione, la consultazione e l'aggiornamento dei dati e da consentire un rapido confronto con i risultati di nuovi rilievi svolti contestualmente allo studio presente. La banca dati è formata mediante apposito modello organizzativo per la sua gestione e impiega metodologie informatizzate di archiviazione e organizzazione. Parallelamente si è messa a punto una tecnica per la costruzione di un database relazionale legato ad una base cartografica georeferenziata, sulla base di uno studio dettagliato del territorio dal punto di vista della destinazione d'uso e della pianificazione.

I risultati relativi all'analisi ex post sono utilizzati per tarare i modelli numerici necessari all'analisi ex ante (danno potenziale).

In questo contesto si è dato rilievo ad una parte relativa al rischio idraulico – idrologico con modello idrologico di tipo afflussi-deflussi per la simulazione dell'idrogramma di piena. L'analisi idrologica è finalizzata alla valutazione delle portate di piena di assegnata probabilità di accadimento (sintetizzata nel parametro tempo di ritorno), indispensabili ai fini della modellazione idraulica per la valutazione degli effetti sul territorio di eventi esondativi..

L'analisi idraulica è finalizzata alla valutazione dei valori del tirante idrico corrispondente alle portate di assegnata probabilità di accadimento e, più in dettaglio, ad una descrizione accurata del campo di flusso, mediante perimetrazione delle aree inondabili. L'analisi deve quindi fornire indicazioni circa la compatibilità idraulica delle sezioni naturali o artificiali e l'entità dei fenomeni di esondazione conseguenti alle portate di riferimento

Le grandezze necessarie per descrivere l'intensità di piena e i danni da questa direttamente provocati sui beni materiali presenti sono molteplici: altezza locale massima raggiunta dall'acqua, velocità locale, erosione, trasporto e deposizione di materiale solido, rapidità di comparsa del fenomeno, sua durata e momento in cui si verifica, particolarità delle situazioni locali e delle circostanze che possono aumentare o diminuire anche considerevolmente i danni (efficacia di sistemi approntati, possibilità di spostare materiali o mezzi, ecc.).

Allo stato attuale delle conoscenze risulta tuttavia molto difficile stimare in modo attendibile tutti questi dati, come resta difficile stimare il valore economico dei beni e la loro percentuale di danneggiamento e addirittura impossibile prevedere, se non in modo generico, le circostanze ed i periodi di accadimento delle piene.

Viene pertanto assunto che sia possibile utilizzare una sola grandezza (quella maggiormente significativa) per descrivere l'intensità di una piena. Tipicamente una grandezza che può essere utilizzata è la profondità massima localmente raggiunta dall'acqua. Questa semplificazione presenta certamente dei limiti, ma consente la realizzazione di una procedura applicabile e relativamente poco onerosa per stabilire la danneggiabilità degli oggetti presenti sul territorio.

Nell'ultima parte della tesi è trattata in maniera dettagliata, vista l'originalità dell'argomento, la modellazione dell'onda generata dall'impatto del misto acqua fluviale/massa detritica con il mare.

Quest'ultimo fenomeno può essere simulato schematizzando il misto acqua fluviale/massa detritica come un fluido pesante e studiando la formazione e la propagazione dell'onda che si genera a seguito dell'impatto.

Recenti risultati presenti in letteratura mostrano come i modelli semplificati tipo "1D shallow water equation", molto diffusi nelle applicazioni idrauliche, non siano adeguati per cogliere alcuni aspetti importanti del fenomeno, come, ad esempio, nel caso dell'onda generata da frane sottomarine, in cui l'altezza viene sottostimata. In questi casi è quindi necessario risolvere numericamente le equazioni di Navier-Stokes.

Recentemente sono stati utilizzati per problemi idraulici modelli di simulazione 2D/3D comunemente utilizzati nella fluidodinamica ed aerodinamica e basati sulla risoluzione numerica delle equazioni complete di Navier-Stokes, con tecniche di discretizzazione spaziale ai volumi finiti o agli elementi finiti. L'utilizzo della modellistica 2D/3D nell'idraulica è particolarmente innovativa e sta raccogliendo molto interesse nell'ambiente scientifico-idraulico, anche grazie alle attuali tecnologie computazionali che hanno permesso di ridurre notevolmente i tempi di calcolo dei codici CFD (Computational Fluid Dynamics) per simulare flussi multifase e multicomponente.

Questo tipo di modelli è adatto a simulare fenomeni transitori molto rapidi ed è perciò applicabile alla simulazione di eventi di generazione e propagazione di un'onda d'acqua. Le risorse computazionali richieste sono molto alte perché l'integrazione nel tempo è effettuata per intervalli temporali molto piccoli ( $10^{-3}$  -  $10^{-6}$  secondi).

Il fenomeno risulta, dunque, di grande complessità, essendo caratterizzato dalla presenza e dall'interazione di tre o più fluidi (multicomponente) in due fasi (multifase): acqua di mare, aria, misto acqua fluviale/massa detritica.

Il modello scelto, perché efficiente per le esigenze del calcolo del problema in questione, è il VOF ("Volume Of Fluid"), che permette di simulare due o più fluidi non miscibili fra loro: in quei casi l'interfaccia fra i fluidi è un'incognita aggiuntiva del problema fluidodinamico.

Il VOF associato alla risoluzione delle equazioni di conservazione con tecnica ai volumi finiti permette di modellare due o più fluidi non miscibili attraverso il tracciamento, con un'equazione di trasporto aggiuntiva, della frazione di volume di ognuno dei due fluidi attraverso l'intero dominio. Nel caso specifico, si ottiene una linea/superficie di interfaccia tra due zone omogenee e le onde generate che procedono nel dominio fluido saranno calcolate come "increspatura"



nella zona di interfaccia fra le due fasi. La formulazione VOF permette, inoltre, di considerare gli effetti della tensione superficiale lungo l'interfaccia.

Il modello è stata validato attraverso la simulazione 3D di un E' stato necessario procedere con una validazione del modello di calcolo che è uno step necessario nello sviluppo del modello stesso, per stabilirne la validità e l'accuratezza. La cieca accettazione di risultati ottenuti con un modello numerico, infatti, non è una base adatta per prendere decisioni su fattori di rischio, soprattutto nel caso in cui non si tratti solo di rischio finanziario ma anche e soprattutto di rischio di vite umane, come nel caso di modelli utilizzati per la ricostruzione di scenari di rischi naturali. Per validare l'analisi fluidodinamica si fa riferimento ad esempi reperiti in letteratura, in particolare alle analisi sperimentali svolte presso il laboratorio VAW di Idraulica, Idrologia e Glaceologia, ed al caso di studio del mega-tsunami del 1958 nella baia di Litua.

Le metodologie sviluppate per l'analisi di rischio descritta sono state applicate al caso di studio di Vietri sul Mare, facendo riferimento, per quanto riguarda il rischio calcolato a posteriori (ex ante), all'alluvione dell'ottobre 1954 di Vietri sul Mare.

L'evento alluvionale del 25-26 ottobre 1954, caratterizzato da precipitazioni eccezionali concentrate in poche ore, ha investito un'area di più di 500 km<sup>2</sup>. Per completezza di analisi e vastità di documentazione il lavoro può essere considerato un "case history". Infatti la stessa tipologia di evento alluvionale e i conseguenti dissesti si sono verificati in molte località della Costiera Amalfitana con caratteristiche geologiche e geomorfologiche del tutto simili a quelle riscontrate a Vietri sul Mare e possono verificarsi in zone costiere con caratteristiche simili.

Il rischio potenziale (ex-post) è valutato invece simulando delle situazioni di possibile rischio idraulico con modello idrologico di tipo afflussi-deflussi per la simulazione dell'idrogramma di piena e l'onda generata dall'impatto dell' acqua fluviale/massa detritica con il mare. A questo proposito occorre considerare che i modelli CFD sviluppati e validati richiedono tempi di calcolo elevati (almeno 5-6 ordini di grandezza superiore ai tempi reali) e che quindi la tecnica è applicabile a modelli in scala ridotta. L'analisi è, dunque, completata con una simulazione del fenomeno di generazione dell'onda a Vietri sul Mare in scala ridotta e con un'estensione, attraverso la similitudine dinamica, al caso reale.

**INDICE**

<b>1</b>	<b>RISCHIO IDROGEOLOGICO IN AREA COSTIERA .....</b>	<b>2</b>
1.1	DEFINIZIONE DEL PROBLEMA.....	2
1.2	DEFINIZIONI DI BASE.....	7
1.3	TIPI DI DANNO.....	15
1.3.1	<i>Danno Attuale e Potenziale .....</i>	<i>15</i>
1.3.2	<i>Danno tangibile, intangibile, diretto ed indiretto.....</i>	<i>16</i>
1.4	MODELLO TECNICO-ECONOMICO.....	18
1.5	PROGETTAZIONE DI OPERE DI DIFESA - SCELTA OTTIMALE .....	20
1.5.1	<i>Interventi strutturali .....</i>	<i>20</i>
1.5.2	<i>Non strutturali .....</i>	<i>21</i>
1.6	METODOLOGIA .....	22
1.7	BIBLIOGRAFIA .....	27

# 1 RISCHIO IDROGEOLOGICO IN AREA COSTIERA

## 1.1 DEFINIZIONE DEL PROBLEMA

Frane e piene sono fenomeni naturali del tutto comuni nell'evoluzione del territorio e nella dinamica del paesaggio. Gran parte del territorio italiano è scolpito dall'azione dei fiumi e dai movimenti che avvengono lungo i versanti. I Cambiamenti del paesaggio ed in particolare quelli più evidenti, avvengono spesso in modo repentino a causa di rari eventi, particolarmente intensi. Può accadere che un evento assolutamente naturale, come una frana o una inondazione, interagisca con l'uomo ed il suo ambiente provocando dei danni. In questo caso si può definire un evento di rischio idrogeologico o più in generale di rischio naturale. Il concetto è comunque conseguenza di una visione antropocentrica della natura e dei suoi processi evolutivi.

La penisola Italiana presenta il maggior numero di dissesti idrogeologici in Europa, sia in termini di eventi franosi sia in termini di fenomeni di piena. Nel territorio italiano frane ed inondazioni, provocano in modo ricorrente danni alle strutture, alle persone ed alle infrastrutture con un impatto economico e sociale rilevante. Il GNDCI ( Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche) del Consiglio Nazionale delle Ricerche, grazie al progetto AVI [5], ha realizzato un censimento degli eventi storici di frana ed inondazioni avvenuti in Italia. Sono stati raccolti oltre 37900 informazioni relative a 32162 eventi di frana in 21159 località (pari ad una località colpita ogni 14 km<sup>2</sup>), ed a 29233 eventi di inondazione in 15904 località ( pari ad una località colpita ogni 19 km<sup>2</sup>). La maggior parte delle informazioni riguarda eventi posteriori al 1900. L'analisi delle informazioni disponibili dimostra come il 59,5% degli 8102 comuni italiani (circa il 75 % del territorio nazionale) abbiano subito almeno una volta una frana, il 55,1 % (71% del territorio) almeno un'inondazione, e il 79,9 % (91% del territorio) una frana o una inondazione.

Negli ultimi decenni studi di tipo idrogeologico in area costiera, hanno trovato un crescente interesse all'interno della comunità scientifica nazionale ed internazionale, infatti l'ambiente di costa si trova intrinsecamente soggetto ad una intensa dinamica geomorfologica che spesso, determina condizioni di pericolosità per movimenti i versanti ed inondazioni. Tale pericolosità può essere inoltre associata a condizioni di rischio in fasce costiere, come quelle nazionali, intensamente antropizzate, sia a causa delle condizioni favorevoli che esse offrono all'urbanizzazione e allo sviluppo di vie di comunicazione, sia per il massiccio sfruttamento turistico-balneare. E' noto che lungo molti tratti delle coste italiane, sia nelle zone di "costa

alta” che in quelle dove la fascia costiera si presenta “ bassa” ma su cui incombono rilievi collinari, i problemi di conservazione e difesa del territorio dipendono in maniera rilevante dalle condizioni di stabilità dei versanti, in maniera particolare se vi troviamo in aree dove sono presenti bacini fluviali.

Di tutti i comuni italiani il 7,94 % (643) sono costieri, ossia si affacciano sul mare. I comuni costieri coprono un totale di 43019 km<sup>2</sup>, il 14,26% dell’intero territorio nazionale, ed ospitano 16,34 milioni di abitanti, il 28,67% dell’intera popolazione nazionale. Un’analisi preliminare dell’informazione storica raccolta nell’ambito del progetto AVI [5] dimostra come la percentuale delle località colpite da frane e da inondazioni, e la percentuale del numero di eventi di frana e di inondazione siano più elevate nelle zone costiere rispetto al resto del territorio nazionale. I dati risultato del progetto AVI, con particolare attenzione alle zone costiere sono riportati in Tabella 1-1.

<b>RISCHIO IDROGEOLOGICO IN AREA COSTIERA</b>	<b>TUTTI I COMUNI</b>	<b>COMUNI LITORANEI</b>	
	<b>Numero</b>	<b>Numero</b>	<b>Percentuale</b>
Numero	8103	643	7,94
Area	301676	43019	14,26
Area media	37,2	66,9	
Popolazione (2001)	56,99	16,34	28,67
N° eventi frana	22547	4309	19,11
Località colpite da frana	18953	3364	17,75
Numero di eventi di inondazione	27801	6251	22,48
Località colpite da inondazione	11587	2087	18,01
Vittime per frana	5218	1148	22,00
Vittime per inondazione	2334	773	33,12
Vittime totali	7552	1921	25,44

Tabella 1-1: Dati di rischio nelle zone costiere italiane, periodo 1900/2004 (SICI – IRPI CNR) [5].

Ogni anno eventi di rischio idrogeologico producono morti, dispersi, feriti, sfollati e senza tetto. Nel periodo compreso tra il 1900 ed 2004 si sono avute 5218 vittime per frana ed almeno 2334 vittime per inondazione. Anche in questo caso la percentuale di vittime verificatesi in zona costiera è superiore, in proporzione, a quella registrata negli altri comuni.

Per comprendere il livello di rischio idrogeologico di un territorio è necessario considerare organicamente una molteplicità di fattori naturali ed antropici. Le forti precipitazioni atmosferiche costituiscono solo la "causa scatenante" di situazioni già precedentemente instabili e precarie.

Lo scopo fondamentale di questo lavoro è quello di esporre, in maniera da rendere evidenti le interconnessioni, le complesse tematiche di cui si compongono e reciprocamente interferiscono l'ambiente naturale e quello antropizzato. E' evidente che solamente un approccio pluridisciplinare alle problematiche idrogeologiche può consentire un efficace contributo nello sviluppo di modelli di preallarme e preavviso e progettazione di opere di mitigazione.

Individuata come causa scatenante la 'precipitazione atmosferica', il fenomeno è direttamente dipendente da eventi pluviometrici caratterizzati da parametri al di sopra della media, con conseguente possibile attivazione di fenomeni franosi, nonché esondazione del corso d'acqua ed infine, può essere significativo studiare l'onda generata dall'impatto del misto massa d'acqua e detrito, convogliato lungo l'asta, con il mare.

Lo studio delle piogge mette in evidenza la qualità, la distribuzione, la frequenza e la tipologia degli eventi pluviometrici, consentendo di riconoscere i valori medi e quelli estremi, oltre i tempi di ritorno, che rappresentano, in chiave probabilistica, la possibilità che un evento con caratteri e valori elevati della media si verifichi.

In Figura 1-1 sono illustrate schematicamente i principali fenomeni connessi ad una precipitazione eccezionale, che comportano scenari di rischio idrogeologico: possibile attivazione di fenomeni franosi, esondazione del corso d'acqua ed infine la possibile generazione di onde impulsive originate dall'impatto di materiale detritico con il mare.

Le metodologie sviluppate per l'analisi più prettamente idrogeologica (analisi geologica, idraulico-idrologica e storica) che sarà descritta nei capitoli successivi, è stata applicata al caso di studio di Vietri sul Mare, in riferimento all'alluvione dell'ottobre 1954. La Campania, risulta tra le regioni italiane dove si sono verificati il maggior numero di eventi: sono state censite 3152 frane, che hanno colpito 1855 località, 1640 eventi di piena che hanno colpito 843 località. (avi.gndci.pg.cnr.it ; <http://sici.irpi.cnr.it>, IFFI [5]). Nell'ottica di una corretta valutazione dell'hazard e del rischio indotto dai dissesti idrogeologici lungo le coste alte, è stato intrapreso

uno studio sistematico dei maggiori fenomeni che non solo recentemente, ma anche nel passato hanno colpito la Costa amalfitana, che riveste un ruolo particolarmente importante nell'ambito economico, turistico e commerciale e culturale di tutta la nostra penisola ed in particolare della regione Campania. La costa di Amalfi include i paesi di Amalfi , Atrani, Cetara, Conca dei marini, Corbara, Furore, Maiori, Minori, Positano, Praiano, Ravello, Sant'Egidio del Monte Albino, Scala, Tramonti, Vietri sul Mare, famosi per la loro pittoresca naturale collocazione e per i loro beni artistici architettonici., sono stati dichiarati *UNESCO World Heritage* [12].

Il caso di studio dell'evento catastrofico accaduto a Vietri sul Mare nel 1954, riguarda un progetto di ricerca pluriennale [4], raccoglie molti contributi a caratteristiche multi-disciplinari, che abbracciano sia competenze più strettamente storico-archivistiche, sia competenze più tecniche a carattere geologico ed ingegneristico. Sono state individuate le caratteristiche geologiche del bacino del torrente Bonea, in cui ricade la cittadina di Vietri sul Mare, considerando le zone emerse e le prospicienti aree costiere marine, viene fornita una cospicua documentazione sull'alluvione del 1954 proveniente da varie tipologie di fonti, corredata da una consistente documentazione archivistica degli eventi alluvionali nella stessa area sin dal XVI secolo. Sono state svolte delle elaborazioni scientifiche dei dati sia geologici, sia storici, nonché meteo-idrologici, per una corretta ricostruzione delle caratteristiche pluviometriche e idrodinamiche dell'evento, e degli effetti indotti sul territorio e sul tessuto urbano.

Il territorio di Vietri sul Mare si sviluppa all'interno di un piccolo bacino idrografico (il bacino del Torrente Bonea) formato da incisioni profonde e con recapito principale nelle adiacenti aree marine. Tale sistema, normalmente caratterizzato da scarse portate e carico sedimentario pressoché nullo, può enormemente aumentare il suo potere di trasporto in corrispondenza di piogge significative. La maggioranza delle attività produttive e dei centri abitativi si sviluppano nelle zone di trasferimento del bacino lungo gli stretti argini dell'asta torrentizia principale. Per al sua morfologia, tipo di urbanizzazione, per al tipologia di evento alluvionale il caso di studio è assimilabile a situazioni presenti in molte altre aree italiane e non solo, inoltre, per completezza di analisi e vastità di documentazione raccolta, il lavoro può essere considerato un case history, per aree caratteristiche geologiche e geomorfologiche paragonabili. Per una trattazione più completa del caso di studio si rimanda all'Appendice A.

Riguardo l'analisi di modellazione dell'onda formata con l'impatto della massa detritica mobilitata con il mare, si è puntato sull'accuratezza del modello numerico, è stato utilizzato un schema di calcolo, comunemente adottato nella fluidodinamica ed aerodinamica, basato sulla risoluzione numerica delle equazioni complete di Navier-Stokes. Recenti risultati presenti in

letteratura hanno infatti mostrano come i modelli semplificati tipo “1D *shallow water equation*”, molto diffusi nelle applicazioni idrauliche, non siano adeguati per cogliere alcuni aspetti importanti del fenomeno [7] (Mader, 2002).

In riferimento all’evento alluvionale avvenuto a Vietri sul Mare, l’onda generata dall’impatto del misto acqua fluviale/massa detritica con il mare, non è risultata significativa ai fini dell’analisi di rischio. In questo caso infatti, viste le elevate pendenze e la particolare morfologia del sito, in occasione di piogge intense, grandi quantità di materiali detritici e di sedimenti transitano verso la zona costiera, dando origine a delta effimeri e flussi iperpicnali nelle relative aree di offshore ([14]). L’applicazione di modelli sofisticati di tipo fluidodinamico, a questa particolare problematica è rimandata a sviluppi futuri.

E’ stato necessario procedere con una validazione del modello di calcolo che è uno step necessario nello sviluppo del modello stesso, per stabilirne la validità e l’accuratezza. La cieca accettazione di risultati ottenuti con un modello numerico, infatti, non è una base adatta per prendere decisioni su fattori di rischio, soprattutto nel caso in cui non si tratti solo di rischio finanziario ma anche e soprattutto di rischio di vite umane, come nel caso di modelli utilizzati per la ricostruzione di scenari di rischi naturali.

Per validare l’analisi fluidodinamica si fa riferimento ad esempi reperiti in letteratura, in particolare alle analisi sperimentali svolte presso il laboratorio VAW di Idraulica, Idrologia e Glaceologia, ed al caso di studio del mega-tsunami del 1958 nella baia di Lituya (Appendice D).

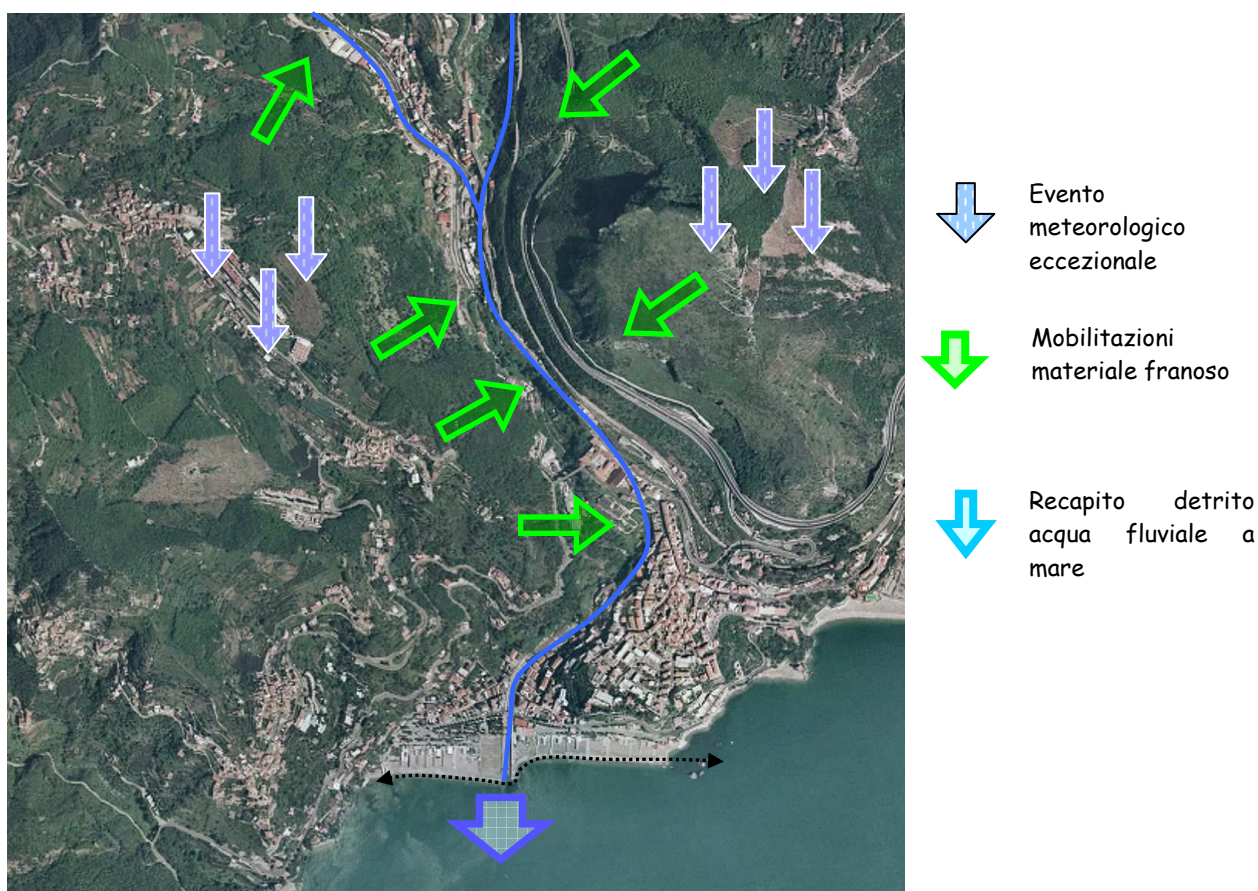


Figura 1-1: Schematizzazione di un possibile scenario di rischio idrogeologico.

E' importante sottolineare che molteplici sono le problematiche connesse ai rischi naturali, in particolare, quelle relative alle catastrofi idrogeologiche, oggetto di crescente e rinnovato interesse da parte non solo della Comunità scientifica nazionale ed internazionale, ma anche delle pubblica Amministrazioni, negli ultimi decenni. Si è dato così avvio a un'analisi conoscitiva delle condizioni di rischio su tutto il territorio nazionale con lo scopo di giungere ad una sua mitigazione attraverso una politica congiunta di prevenzione e previsione.

## 1.2 DEFINIZIONI DI BASE

Si illustrano in sintesi gli aspetti di base, con riferimento alla valutazione dei termini economici associati ad eventi calamitosi di inondazione, per i quali il concetto di *rischio* assume un significato codificato ed univoco.

Nella percezione comune il *rischio* è dato dalla combinazione delle eventualità che si verifichi una contingenza sfavorevole con le conseguenze più o meno gravi che questo potrà comportare. Anche se il *grado di rischio* è quantificabile in maniera abbastanza obiettiva, il *rischio* esiste soltanto se comporta un *danno*. La percezione e l'accettazione del rischio associato ad una



determinata situazione dipendono da molti fattori tra i quali citiamo: la possibilità di assumere volontariamente il rischio, la familiarità dei soggetti con la situazione che li minaccia, il numero di persone coinvolte, la loro predisposizione psicologica e culturale alla sopportazione del fatto dannoso, la episodicità e la vicinanza del pericolo.

Una calamità che si verifica piuttosto raramente se percepita come evitabile mediante precauzioni viene difficilmente accettata. Le inondazioni vengono sempre più considerate come un fatto estraneo alla vita della comunità e tendono ad essere rifiutate.

Per poter dare una definizione del *rischio* è necessario introdurre un altro concetto fondamentale per la trattazione così come accettato da gran parte del mondo scientifico: *il pericolo* [6].

Il *pericolo* si definisce come la proprietà o la qualità intrinseca di un determinato fattore o fenomeno (nel nostro caso una piena fluviale) avente il potenziale di fare danni.

Per quanto riguarda invece la definizione generale di *rischio*, esso sta ad indicare la probabilità che una situazione di pericolo si concretizzi in danno e la possibile entità di tale danno. Si può quindi asserire che il rischio è una variabile dipendente contemporaneamente dai fattori "*probabilità*" e "*danno*".

I due concetti su esposti convergono in un altro passaggio fondamentale della trattazione: *la valutazione del rischio*.

Per la *valutazione del rischio* s'intende il complesso delle operazioni analitiche richieste per individuare i rischi nonché le misure preventive e protettive necessarie per la salvaguardia della sicurezza [6].

A livello comunitario esistono definizioni di rischio e della valutazione del rischio differenti rispetto a quelle appena richiamate: il *rischio* viene definito come la probabilità che sia raggiunto il limite potenziale di danno, ovvero di esposizione, di un determinato fattore; la *valutazione del rischio* viene definita come procedimento di valutazione della possibile entità del danno derivante dal verificarsi del pericolo.

Si comprendono così come la valutazione del rischio sia lo strumento fondamentale che permette alle amministrazioni di individuare le misure di prevenzione e di pianificarne l'attuazione, il miglioramento ed il controllo al fine di verificarne l'efficacia e l'efficienza.

In tal contesto, naturalmente, potranno essere confermate le misure di prevenzione già in atto, o decidere di modificarle, per migliorarle in relazione agli sviluppi del territorio.

Definizione a livello Comunitario del rischio :

---

*Pericolo*: proprietà o qualità intrinseca di un determinato fattore o fenomeno avente il potenziale di causare danni.

*Rischio*: la probabilità che una situazione di rischio si concretizzi in danno e l'entità di tale danno.

Valutazione del rischio: complesso delle operazioni analitiche richieste per individuare i rischi nonché le misure preventive e protettive necessarie per la salvaguardia della sicurezza.

Altre definizioni adottate nel mondo scientifico:

*Pericolo*: proprietà o qualità intrinseca di un determinato fattore o fenomeno avente il potenziale di causare danni.

*Rischio*: probabilità che sia raggiunto il limite potenziale di danno di un determinato fattore.

*Valutazione del rischio* : procedimento di valutazione della possibile entità del danno quale conseguenza del rischio derivante dal verificarsi di un pericolo.

A differenza di quanto inteso normalmente nel linguaggio comune, il rischio non rappresenta la probabilità del verificarsi di un evento avverso, bensì l'effetto quantitativo medio conseguente al verificarsi del fenomeno in esame. In particolare per un territorio soggetto a potenziale evento avverso che in un assegnato intervallo temporale  $t$  possa verificarsi in media una sola volta, il rischio, inteso come valore atteso delle conseguenze dell'evento, può essere così definito [6]:

$$Rischio = P \cdot D \qquad \qquad \qquad Eq. 1-1$$

dove:

- $P$  (hazard) è la probabilità che nell'intervallo temporale  $t$  si verifichi l'evento temuto;
- $D$  è il valore atteso delle conseguenze dell'evento (danno economico o altre forme di perdita)

Le conseguenze  $D$  di un singolo evento possono essere stimate in genere come prodotto dell'entità o valore  $V$  degli elementi esposti a rischio per il grado di vulnerabilità  $G_v$ , che rappresenta la quota (adimensionale) di  $V$  che viene perduta a causa del verificarsi dell'evento.

$$D = V \cdot G_v \qquad \qquad \qquad Eq. 1-2$$

pertanto, se l'entità degli elementi a rischio può considerarsi indipendente dalla gravità dell'evento, si ha :

$$D_m = V \cdot G_{vm} \qquad \qquad \qquad Eq. 1-3$$

dove  $G_{vm}$  rappresenta il valor medio della vulnerabilità.

Conseguentemente si ricava il valore del rischio:

$$Rischio = Nmt \cdot Dm$$

*Eq. 1-4*

dove  $Nmt$  rappresenta il numero atteso di eventi nell'intervallo  $t$ .

Occorre sin da adesso sottolineare la notevole complessità connessa con la determinazione del rischio, qualsiasi sia il fenomeno considerato, a causa della scarsa conoscenza quantitativa della probabilità del verificarsi di alcuni fenomeni naturali, dell'elevata non linearità di azione, specificatamente in termini di danno arrecato, in relazione alla dinamica dell'evento, alla sua persistenza temporale, alla presenza di effetti di soglia, singoli o multipli, ed infine per effetto dell'estensione spaziali cui tali metodologie debbono essere impiegate.

Le difficoltà di taratura dei modelli probabilistici dipende dalla frequente carenza di dati disponibili, che rappresentano il più delle volte il punto di partenza delle elaborazioni condotte per la valutazione del rischio. Appare pertanto necessaria una verifica critica preliminare delle metodologie che si intendono adottare alla luce dei dati di cui ragionevolmente si ritiene di poter disporre, principalmente per effetto della stretta, correlazione esistente fra le scale spaziali e temporali dei fenomeni indagati.

Aspetto fondamentale riguardante qualsiasi tipologia di rischio è la previsione intesa come attività essenzialmente conoscitiva ed orientata allo studio od alla determinazione delle cause dei fenomeni calamitosi, alla identificazione dei rischi ed alla individuazione delle zone di territorio soggetto ai rischi stessi.

Oltre agli aspetti previsionali del rischio, occorre tenere in particolare considerazione le misure di prevenzione che comprendono invece le attività volte ad evitare o ridurre al minimo la possibilità che si verifichino danni anche sulla base delle conoscenze acquisite per effetto delle attività di previsione.

Attraverso le misure preventive si intendono ridurre gli effetti della calamità mediante provvedimenti attuabili prima che l'evento temuto si verifichi [8].

Gli interventi di prevenzione dei rischi richiedono, per essere efficaci, lo sviluppo di un'adeguata capacità di previsione che consenta di individuare nelle diverse aree del territorio nazionale e per ciascun tipo di rischio, quali siano le zone potenzialmente interessate (aree vulnerabili) e la dimensione della vulnerabilità, cioè la dimensione delle persone e dei beni presenti in tali zone.

Risulta quindi di grande utilità la conoscenza delle aree che nel passato sono già state colpite da eventi calamitosi (aree vulnerate). Le caratteristiche di elevata ripetitività dei fenomeni di

inondazione, fanno ritenere che un'aliquota consistente degli eventi dannosi che potranno verificarsi nel futuro, sia costituita da eventi che sostanzialmente si ripropongono con caratteristiche in parte analoghe a fenomeni verificatesi nel passato.

L'analisi storico-retrospettiva degli eventi di piena costituisce la principale base per la definizione e la mappatura del rischio di inondazione.

Una definizione alternativa di rischio [10] di Natale e Versace, 1995, è la seguente:

$$R_t = E \cdot V \cdot \frac{t}{T} \quad \text{Eq. 1-5}$$

dove

E è l'entità complessiva (o valore) degli elementi posti nelle aree a rischio;

V la vulnerabilità degli elementi (adimensionale e minore di 1);

t l'orizzonte temporale di valutazione e;

T il tempo di ritorno della piena.

E' noto che il tempo di ritorno è l'inverso della probabilità di superamento della portata in alveo Q oltre la quale avviene l'esondazione.

La riduzione del rischio  $R_t$  può essere ottenuta in vari modi agendo su ciascuno o su tutti i termini che compaiono nell'equazione 1. L'analisi di questa relazione consente di classificare i differenti mezzi di protezione contro l'inondazione:

- i mezzi di protezione strutturali che hanno lo scopo di diminuire la probabilità di inondazione, aumentando il tempo di ritorno;
- i mezzi di protezioni non strutturali, siano essi costituiti da difese da porre in opera durante l'emergenza o provvedimenti di protezione, che hanno l'effetto di ridurre la vulnerabilità degli elementi a rischio;
- i provvedimenti di zonazione delle aree a rischio, attuabili attraverso la vincolistica del suolo, che hanno l'effetto di ridurre il valore e il numero degli elementi a rischio.

Dunque il beneficio atteso da un sistema di protezione strutturale è dato dalla differenza tra il rischio attuale  $R_{ta}$  e il rischio residuo  $R_{tr}$  lasciato dal sistema di protezione [1]:

$$B_t = R_{ta} - R_{tr} = \left( E \cdot V \cdot \frac{t}{T} \right)_{ta} - \left( E \cdot V \cdot \frac{t}{T} \right)_{tr} + \Delta B \quad \text{Eq. 1-6}$$

dove :

$(T)_{ta}$  è il tempo di ritorno della piena che provoca l'inondazione in assenza di difesa ,

$(T)_{tr}$  è il tempo di ritorno della piena di dimensionamento del sistema di difesa,

sono i benefici indotti come incremento di valore delle aree liberate da frequenti rischi di piena, non direttamente correlabili con l'aumento del tempo di ritorno dell'inondazione.

I termini sopra analizzati sono di incerta valutazione visto che:

- non sono ben definibili i valori unitari dei beni da proteggere, la loro effettiva vulnerabilità e gli effetti dell'inondazione;
- esiste un margine di incertezza, talvolta molto ampio, nelle proiezioni statistiche in campo idrologico;
- la situazione delle aree inondabili è destinata a mutare nel corso del periodo di valutazione ( $t$ ) in maniera non perfettamente prevedibile nei calcoli di progetto.

Tralasciando di trattare la complessa casistica delle situazioni reali e di considerare gli elementi di incertezza di cui si è detto sopra può risultare sufficiente impostare la scelta del grado di protezione da garantire ad un'area inondabile individuandolo, secondo il semplice criterio costi-benefici, nel punto di incontro tra la curva del beneficio offerto dal sistema di difesa e la curva del costo.

L'analisi costi benefici richiede che i beni di diverso tipo, la loro vulnerabilità, il danneggiamento delle attività economiche, l'interruzione delle attività sociali, i disagi fisici e psicologici ecc., siano valutati in termini di valori equivalenti.

Poiché la determinazione del livello di protezione viene fatta in maniera differente a seconda che la difesa sia affidata soltanto a un sistema strutturale ovvero si ricorra alla combinazione di mezzi strutturali e mezzi non strutturali, è bene che i due casi siano considerati separatamente.

Ulteriori considerazioni probabilistiche consentono di confermare una scelta più realistica del tempo di ritorno, basta sul rischio di insufficienza.

Consideriamo per esempio una pioggia avente un tempo di ritorno di dieci anni: essa è eguagliata o superata in media una volta ogni dieci anni. Fissato un determinato decennio, ad esempio 2000-2010, se la pioggia si presenta nel 2001, non si ripresenterà più in media negli anni dal 2002 al 2010, ossia esistono un caso positivo e nove casi negativi su un totale di dieci casi possibili. La probabilità dell'evento positivo è dunque  $1/10$ , e quella dell'evento negativo è  $9/10$ . La somma delle due probabilità è  $10/10$ , cioè la certezza.

Consideriamo ora il caso che la pioggia non si verifichi nel biennio 2001-2002; il teorema della probabilità composta la probabilità del caso contrario è infatti il prodotto delle probabilità parziali:

$$(1-1/10)(1-1/10) = 0.81.$$

La probabilità dell'evento desiderato risulta quindi:  $1-(1-1/10)^2 = 0.19$ .

In generale, per N anni (detto intervallo di rischio), la probabilità dell'evento, detta rischio di insufficienza, risulta:

$$R_N = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N \quad \text{Eq. 1-7}$$

Questa equazione può essere rappresentata graficamente come indicato in Figura 1-2 ([1]).

Per  $N=T$ , cioè con un intervallo di rischio N pari al tempo di ritorno T, la figura indica che il rischio di superamento  $R_N$  tende rapidamente a 0.63 all'aumentare di T; sussistono quindi circa due probabilità su tre di insufficienza in T anni.

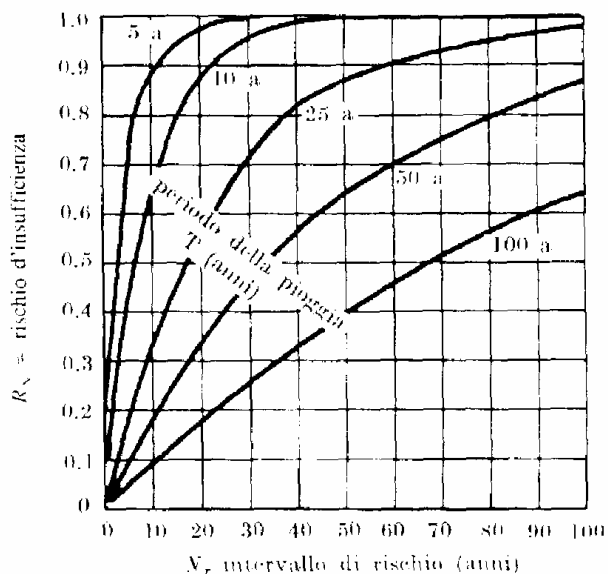


Figura 1-2: Variazione della probabilità di una pioggia in funzione del periodo e dell'intervallo di rischio, [1].

In definitiva la progettazione delle opere idrauliche per la mitigazione del rischio da alluvione che comprendono le regole di pianificazione e gestione del territorio richiede due livelli previsionali:

- la valutazione delle portate al colmo di piena, temibile lungo la rete idrografica;
- la valutazione degli idrogrammi di piena associati alle portate temibili.

Questi due livelli definiscono il rischio idrologico, inerente cioè al transito delle piene in una rete idrografica.

Un terzo livello che consiste nella delimitazione delle aree potenzialmente esondabili, sia in relazione alla situazione esistente che in seguito a interventi strutturali e non, definisce il rischio idraulico, ovvero misura la vulnerabilità di un territorio in relazione ai fenomeni alluvionali  
Figura 1-3.

Per valutare in maniera accurata tutti i livelli, occorre sviluppare metodologie di crescente complessità. Quando dalla determinazione delle portate temibili si passa alla determinazione delle aree esondabili, il dettaglio spaziale dell'analisi cresce e, nello stesso tempo, il grado di incertezza, con cui tale analisi può essere condotta, aumenta. Il grado di tollerabilità delle incertezze diminuisce all'aumentare dell'antropizzazione del territorio, cioè dove è maggiore la necessità di delimitare con precisione le aree esondabili.

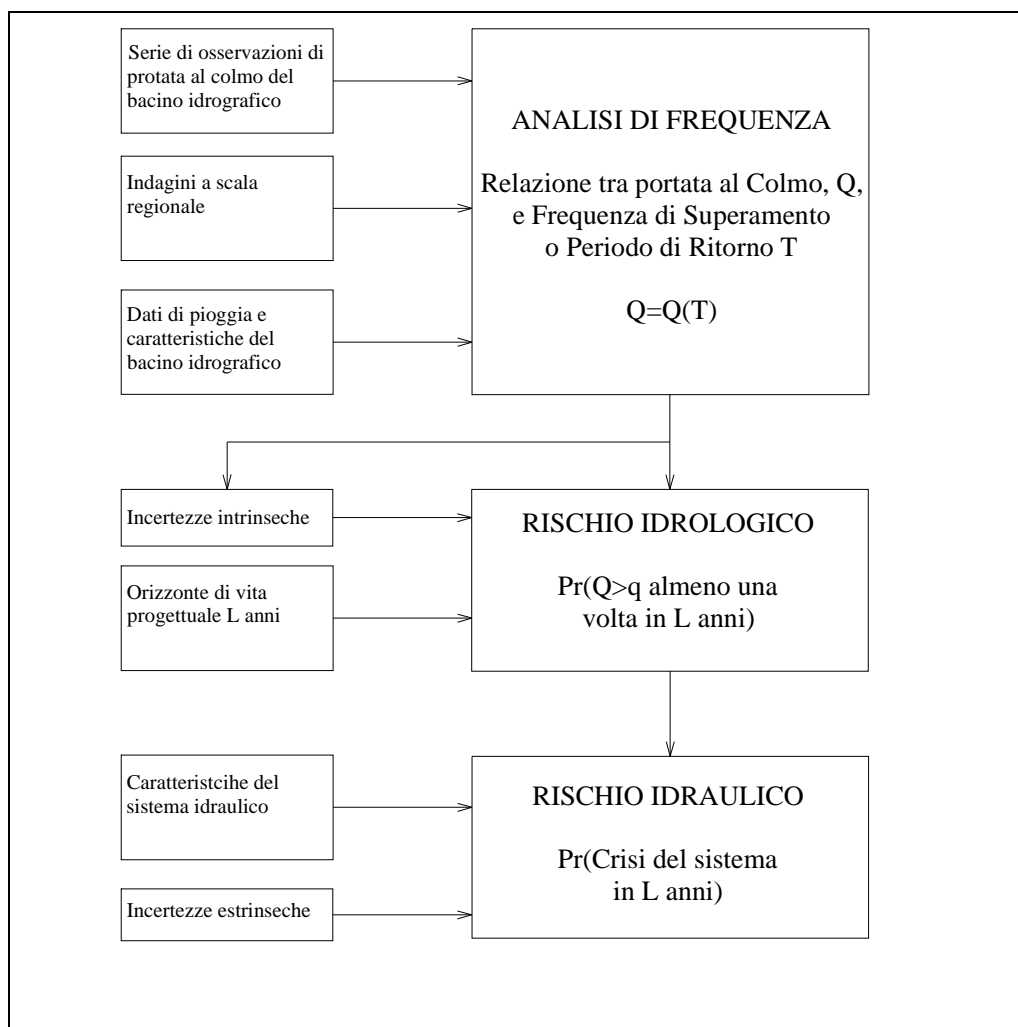


Figura 1-3 Previsione del rischio idrologico e idraulico.

### 1.3 TIPI DI DANNO

#### 1.3.1 Danno Attuale e Potenziale

La stima dei danni da inondazione ha grande importanza ai fini della mitigazione degli effetti prodotti sulla popolazione e sulle infrastrutture. Esistono due approcci di base nella valutazione dei danni da piena [11].

Per molto tempo, l'approccio tradizionale al problema si è basato su una *valutazione ex-post* del danno prodotto a seguito di eventi reali (*danno attuale*). Tale approccio, basato sull'esame e registrazione delle conseguenze dell'inondazione dopo l'evento, presenta tuttavia vari limiti. Infatti la registrazione accurata dei danni dopo l'alluvione è difficoltosa ( ad es. i danni ai fabbricati possono dimostrare la loro reale entità solo dopo alcuni mesi o anni); inoltre, la valutazione di misure per la mitigazione della piena non è normalmente possibile valutando un singolo evento, è infatti esclusa la possibilità di produrre dati per progetti che prevedano protezione da un'inondazione di maggiore entità.

Negli ultimi anni, si è andata quindi affermando l'esigenza di una *valutazione ex-ante* dei danni da inondazione, basata cioè sul valore atteso del danno (*danno potenziale*) per eventi di assegnata probabilità di accadimento, che sia di supporto alla fase decisionale in numerosi campi applicativi, dalla pianificazione territoriale, alla protezione civile fino alla progettazione di misure strutturali di mitigazione. Tale metodologia non fa affidamento sulla necessità di un evento calamitoso per l'assunzione di dati ed è quindi applicabile in maniera generale a qualsiasi area, incluse quelle in cui l'inondazione non è mai avvenuta. L'analisi ex-post è necessaria per l'assunzione di dati di costo sotto forma di dati standard.

Le grandezze necessarie per descrivere l'intensità di piena e i danni da questa direttamente provocati sui beni materiali presenti sono molteplici: altezza locale massima raggiunta dall'acqua, velocità locale, erosione, trasporto e deposizione di materiale solido, rapidità di comparsa del fenomeno, sua durata e momento in cui si verifica, particolarità delle situazioni locali e delle circostanze che possono aumentare o diminuire anche considerevolmente i danni (efficacia di sistemi approntati, possibilità di spostare materiali o mezzi, ecc.).

Allo stato attuale delle conoscenze risulta tuttavia molto difficile stimare in modo attendibile tutti questi dati, come resta difficile stimare il valore economico dei beni e la loro percentuale di danneggiamento e addirittura impossibile prevedere, se non in modo generico, le circostanze ed i periodi di accadimento delle piene.



Viene pertanto assunto che sia possibile utilizzare una sola grandezza (quella maggiormente significativa) per descrivere l'intensità di una piena. Tipicamente una grandezza che può essere utilizzata è la profondità massima localmente raggiunta dall'acqua. Questa semplificazione presenta certamente dei limiti, ma consente la realizzazione di una procedura applicabile e relativamente poco onerosa per stabilire la danneggiabilità degli oggetti presenti sul territorio [2].

Assumendo che l'altezza d'acqua massima raggiunta possa essere ovunque utilizzata per descrivere l'intensità di piena, un primo approccio prevede la suddivisione della superficie interessata in poligoni caratterizzati da uguale valore dell'altezza raggiunta dall'acqua (isotiranti). Nella determinazione di tali poligoni e nella scelta delle classi di altezza da utilizzare per descrivere in maniera discreta l'intensità della piena è necessario tenere conto che il fenomeno deve essere descritto con un dettaglio che sia simile a quello disponibile per la descrizione della danneggiabilità degli oggetti presenti sul territorio e coinvolti dalla piena.

Questo modello, che verrà in seguito indicato come modello a isotiranti, viene messo a confronto con una nuova procedura per la stima dei danni da inondazione indicata come modello raster.

La procedura di rasterizzazione fornisce in output una descrizione continua e con dettaglio dell'ordine del passo della cella, sia in termini di altezza dell'acqua che di vulnerabilità del territorio interessato dall'inondazione.

Entrambi i modelli sono implementati con l'ausilio di tecnologie G.I.S..

### *1.3.2 Danno tangibile, intangibile, diretto ed indiretto*

In letteratura sono riconosciuti molti tipi di classificazioni dei danni da piena .

Abitualmente le due [11] [13] principali categorie sono.

- danno tangibile;
- danno intangibile.

La distinzione si basa sul fatto di poter assegnare o meno un valore monetario alle conseguenze dell'inondazione. Esempi di danno intangibile includono ansia dovuta al disagio di vivere in una zona a rischio, inconvenienti e cattiva salute.

Definito il danno tangibile, è possibile specificare due sottocategorie:

- danno diretto;

- danno indiretto.

Il danno diretto è il risultato del contatto fisico dell'acqua di piena con le proprietà danneggiate. L'intensità del danno è proporzionale ai costi di restauro della proprietà per riportarla nelle condizioni esistenti prima dell'evento di piena o al suo valore di mercato se il restauro non è conveniente. Il danno diretto, è funzione di molti fattori:

- quelli connessi con l'area rischio come l'uso della suolo, la sua vulnerabilità,
- quelli connessi con le caratteristiche dell'evento di piena come l'altezza e la durata dell'inondazione, la velocità dell'acqua e il suo contenuto di sedimenti.

La valutazione è molto complessa ed in un certo senso arbitraria e c'è ragione di credere che non ci sia alcuna relazione semplice tra danni tangibili e intangibili o tra gli effetti diretti ed indiretti dell'inondazione.

Il danno indiretto riguarda perdite causate dall'interruzione di attività fisiche ed economiche connesse con la produttività. Esempi di questo tipo di danno sono l'interruzione del traffico, diminuzione della produzione industriale, impedimento al personale di raggiungere il suo posto di lavoro, diminuzione dei profitti commerciali.

Possiamo considerare danno diretto secondario quello di esplosioni causate da fughe di gas, mentre indiretto secondario quello dovuto alla diminuzione del reddito di una famiglia dovuta ad una mancata produttività.

È impossibile standardizzare la relazione tra i danni *diretti* ed *indiretti* in quanto sono troppe le variabili che incidono, ad esempio, nella distruzione di strade ed altri sistemi di comunicazione non è possibile utilizzare coefficienti fissi che correlano risultati di danni indiretti a danni diretti che, in alcuni casi, possono addirittura essere trascurati. I dati standard si ricavano per terreni commerciali e industriali, misurando il danno indiretto in termini di perdita di profitto. Questo tipo di danno va accuratamente considerato e consiste essenzialmente in perdita di profitto per mancata produzione o mancata vendita. In questo caso potrebbe non essere previsto alcun indennizzo a seguito di un'inondazione.

Una forma di danno *indiretto* che non dovrebbe essere ignorata è il costo dei servizi di emergenza necessari al momento dell'evento calamitoso. In questo caso il beneficio proviene soltanto dai servizi straordinari del personale impegnato, considerando che, anche annullando il rischio di piena, il personale in questione (per esempio vigili del fuoco) rimarrebbe inalterato.

Sebbene il danno *intangibile* sia importante, è stato fatto solo un limitato sforzo per quantizzarlo e i risultati ottenuti non fanno prevedere nel breve la realizzazione di un modello semplice per la

sua valutazione. Nelle analisi costi-benefici, comunque, è bene perlomeno registrare l'eventuale presenza di danni *intangibili*.

#### **1.4 MODELLO TECNICO-ECONOMICO**

La pianificazione della mitigazione delle piene richiede la capacità di valutare le conseguenze economiche dei danni dovuti a inondazione.

“*L'analisi del danno*” prevede la valutazione del beneficio apportato da una misura di protezione dalle piene, beneficio che sarà quantizzato dal valore del danno con o senza l'intervento di mitigazione

Il danno è assunto come funzione dei valori di portata di picco, è indipendente dalla durata dell'inondazione ed è valutato come somma dei danni nei singoli tratti lungo il bacino fluviale. Per ogni tratto di fiume saranno distinte le varie destinazioni d'uso del suolo associate ad un certo valore; dalla somma di tutti questi si otterrà il danno di tratto.

Il *Danno Medio Aspettato Annuo (EAD)* [9] è l'integrale sotteso dalla curva danno – frequenza di superamento e rappresenta il danno medio annuo che si prevede possa accadere in un tratto in un dato periodo di tempo.

La metodologia di base utilizzata per la valutazione dell'EAD è quella di ottenere la curva danno – frequenza di superamento come combinazione, per ogni tratto, delle curve

- danno - portata (oppure danno –altezza ) che rappresenta il danno economico causato dai vari livelli di piena in quell'area
- portata – frequenza di superamento (oppure altezza – frequenza di superamento).

Combinando queste informazioni si ottiene la curva danno – frequenza di superamento e il danno aspettato annuo per un tratto.

La valutazione procede prendendo in considerazione vari scenari di intervento; il primo scenario rappresenta le condizioni di base, quindi una valutazione delle condizioni esistenti, gli scenari successivi contengono ognuno una soluzione alternativa per la mitigazione delle piene. Per tutti gli interventi sarà valutato il valore del danno e dal loro confronto con il primo scenario si ottiene la riduzione del danno e dunque il beneficio.

I dati di danno sono tabulati per varie categorie significative che possono anche essere differenti da tratto a tratto. Le informazioni sulla locazione del danno di tratto devono essere specificate in maniera da riassumere la situazione in tutto il bacino. I due calcoli di base dell'analisi del danno sono la modificazione della curva di frequenza e la valutazione del danno aspettato annuo, le

misure strutturali influenzano la curva di frequenza di superamento - portata mentre le non strutturali intervengono sulle relazioni di danno senza intervenire sulla portata.

Come accennato il danno atteso annuo deriva da un'analisi statistica dei dati e viene stimato attraverso l'area sottesa dalla curva danno - frequenza di superamento. Questa curva o funzione si ottiene dalla combinazione della curva portata - frequenza di superamento con le curve altezza - portata e altezza - danno, come illustrato in Figura 1-4.

Indicando con  $D(q_d)$  la funzione danno-portata e con  $f(q_d)$  la frequenza di superamento in funzione della portata, l'EAD può essere espresso come:

$$Eq. 1-8 \quad EAD = \int_{q_c}^{+\infty} D(q_d) \cdot f(q_d) \cdot dq_d = \int_{q_c}^{+\infty} D(q_d) \cdot dF(q_d)$$

dove  $q_c$  è la portata di soglia, cioè la portata al di sotto della quale non c'è danno.

Nelle applicazioni pratiche la valutazione del danno atteso annuo si fa utilizzando un'integrazione numerica, considerando la difficoltà legata alla determinazione di una formula matematica esprime le funzioni  $D(q_d)$  e  $f(q_d)$ . Quindi l'area colorata in figura può essere approssimata con:

$$Eq. 1-9 \quad EAD = \sum_{j=1}^n \frac{[D(q_j) + D(q_{j+1})]}{2} \cdot [F(q_{j+1}) - F(q_j)]$$

in cui  $q_j$  è un valore di portata maggiore o uguale a  $q_c$ .

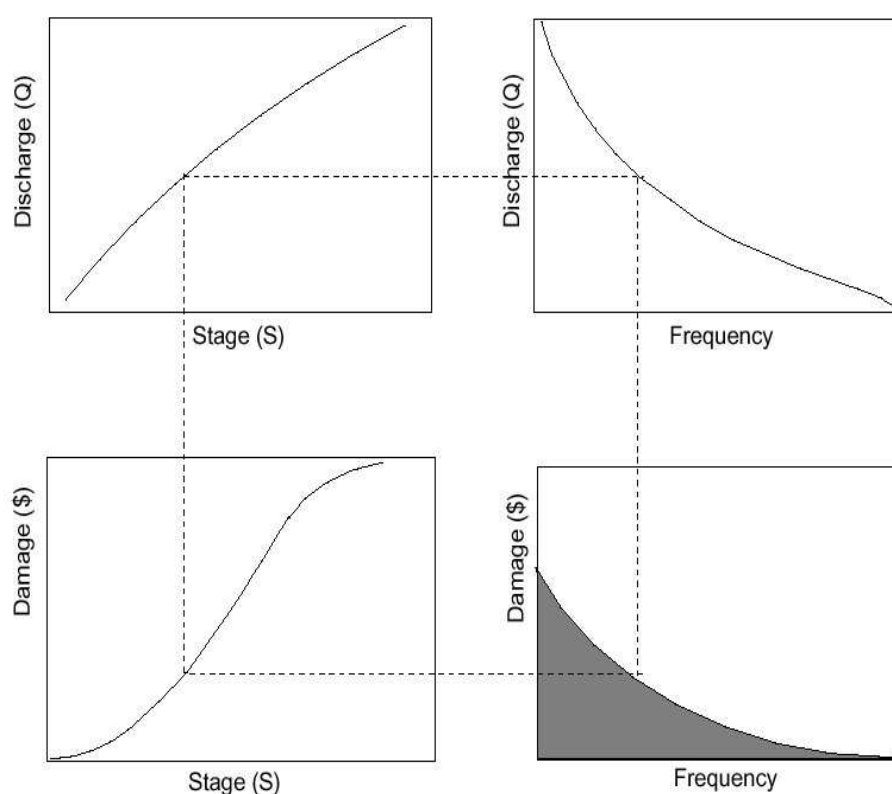


Figura 1-4: Stima della curva frequenza di superamento-danno [9].

## 1.5 PROGETTAZIONE DI OPERE DI DIFESA - SCELTA OTTIMALE

### 1.5.1 Interventi strutturali

Gli interventi strutturali hanno da sempre costituito la struttura portante di un sistema di protezione delle aree soggette ad esondazione.

Tali interventi negli anni si sono succeduti aumentando la capacità di trasporto degli alvei fluviali e riducendo le aree di esondazione sempre più oggetto di insediamenti anche di tipo produttivo. Le opere così realizzate, a fronte di mutate condizioni climatiche e da un inadeguato e talvolta irresponsabile uso del suolo hanno determinato un aumento della vulnerabilità degli insediamenti e dei beni ubicati nelle antiche zone di esondazione. Tali opere, frutto di interventi diversi nel tempo e nello spazio, hanno dimostrato dei limiti di protezione inadeguati, da soli, ai beni da proteggere.

E' evidente quanto sia stretta la corrispondenza tra il sistema di difesa da realizzare, le opere da proteggere ed il rischio che si intende accettare. Se il valore delle aree soggette ad esondazione non è particolarmente rilevante e, quindi, i benefici di un sistema di protezione di conseguenza non sono elevati, anche il tempo di ritorno da adottare nel dimensionamento degli interventi non

deve essere particolarmente elevato in quanto il costo delle opere non giustificerebbe detti benefici marginali.

Di contro qualora il particolare pregio di alcune aree richiederebbe l'adozione di elevati tempi di ritorno con conseguenti inaccessibili costi di realizzazione delle connesse opere è necessario ridimensionare il grado di protezione cui assoggettare le opere medesime. In definitiva, occorre una visione dinamica del sistema di protezione che deve evolvere con il territorio; le prospettive di sviluppo e di pianificazione di un'area non possono non prevedere, di pari passo, una evoluzione del sistema di protezione.

### *1.5.2 Non strutturali*

Si è accennato che gli interventi strutturali comportano un'aumento degli oneri di intervento crescente con il tempo di ritorno degli eventi dai quali si vuole difendere il territorio. Quando il costo di tali interventi diventa molto elevato occorre intervenire riducendo il grado di protezione cui assoggettare i beni diminuendo, al contempo la vulnerabilità. Ciò si ottiene mettendo in atto tutti i provvedimenti necessari alla riduzione del danno che si prevede possa causare l'evento atteso.

Tali provvedimenti sono sostanzialmente quelli relativi alla gestione ordinaria del territorio, come i provvedimenti di limitazione della edificabilità o degli insediamenti produttivi, genericamente riconducibili alla zonizzazione del territorio mediante l'adozione degli opportuni strumenti urbanistici; quelli relativi alla gestione dell'emergenza, come la predisposizione dei modelli di previsione collegati alla rete di monitoraggio, la redazione dei piani di emergenza, la realizzazione di un efficiente sistema di coordinamento delle attività previste in detti piani.

La gestione dell'emergenza prevede un arco di tempo prima dell'arrivo della piena tale da ridurre al massimo il danno potenziale dando la possibilità di spostare beni ai piani più alti o rimuoverli in strutture protette ed infine il più grande vantaggio è quello di salvare vite umane. Fondamentale è l'efficienza dei mezzi e delle attrezzature per comunicare con gli abitanti delle zone a rischio

Un sistema di difesa non strutturale ha come finalità, tra l'altro, la riduzione della vulnerabilità degli elementi a rischio. Tale riduzione viene conseguita anche con la pianificazione dell'emergenza e di tutte le attività volte a fronteggiare le situazioni di rischio. Tuttavia esistono una serie di circostanze che non rendono sempre perfettamente efficace il sistema; ad esempio, la tempestività di attivazione del piano di emergenza, la probabilità che un evento di piena con capacità di determinare dei danni o non venga previsto, o non determini un allarme e quindi, non vengano attivate le procedure di difesa. Tutto ciò riduce sensibilmente, in funzione della

probabilità di mancato allarme, quella di efficacia del preallarme e, conseguentemente, influisce sulla vulnerabilità dei beni da proteggere.

Gli interventi non-strutturali possibili sono sostanzialmente quattro, primo è l'individuazione delle aree a maggior pericolosità e la realizzazione di carte di pericolosità di esondazione e di inondazione, così da permettere l'individuazione delle aree su cui porre la massima attenzione e consentire una migliorata pianificazione e gestione territoriale. Il secondo intervento non-strutturale è la realizzazione di sistemi di preallarme e previsione di piena in tempo reale, che consentano almeno dodici ore di preavviso di attivare il piano di protezione civile.

Successivamente è necessario pianificare modalità di intervento nei casi di pre-allerta, preallarme ed emergenza e realizzare quello che si può definire un vero e proprio Manuale di Procedure per la protezione civile in cui località per località sia definito il problema, delle soglie di rischio, le Autorità responsabili e le azioni da attuare.

L'ultimo intervento non-strutturale possibile è infine la realizzazione di un sistema di supporto decisionale integrato che consenta non solo di centralizzare le informazioni in sale operative di controllo dove potranno essere effettuate le eventuali verifiche di operazioni di intervento proposte ma anche di organizzare un coordinamento.

## **1.6 METODOLOGIA**

L'analisi di rischio dunque è il risultato di molti fattori che agiscono in maniera non indipendente, ed in situazioni spazio-temporali differenti. Per un approccio completo è sicuramente necessario tener conto dei principali fenomeni e utilizzare in parallelo distinti tipi di analisi.

La schematizzazione attraverso un diagramma di flusso [3] che illustra la metodologia definita in questo lavoro è illustrata in Figura 1-5, sono presenti i due approcci di valutazione di danno ex ante ed ex post e la loro interconnessione nell'ambito delle singole analisi.

Analisi ex-post:

- *Dati spaziali*. Una analisi che possa essere ritenuta credibile, al di là dell'accuratezza dei modelli numerici e del rigore metodologico, deve possedere un completo quadro conoscitivo dell'area di applicazione. Ciò impone approfondite conoscenze dell'ambiente fisico a partire dalla topografia dei luoghi, dalla corretta ed ampia diffusione di strumenti idonei ad identificare i parametri idrogeologici necessari, alla elaborazione dei dati raccolti, fino alla redazione di cartografie tematiche. Scopo dell'attività è raccogliere dati cartografici, dati idraulico-idrologici, letteratura tecnica,

documenti progettuali, formulati da precedenti attività nell'area di studio, al fine di ampliare significativamente il quadro delle conoscenze pregresse, integrando quelle disponibili con successivi affinamenti. Tale fase di raccolta dati consente infatti di ottenere una conoscenza completa ed accurata dell'area di studio e di valutare, mediante confronto con cartografie o rilievi preesistenti, l'evoluzione nel tempo dell'alveo di piena. Oltre a quelle cartografiche dovrà pertanto essere preso in considerazione un articolato ventaglio di fonti documentali. Per ogni dato acquisito dovrà essere specificata la fonte di provenienza, la datazione e l'attendibilità dell'informazione. L'attività di raccolta dati potrà essere coadiuvata da un adeguato supporto informatico (database) che consenta un rapido aggiornamento e una facile consultazione degli stessi. Questa fase è strettamente connessa con l'esame delle fonti storiche.

- *Analisi delle fonti storiche* L'analisi sistematica delle fonti storiche consente la ricostruzione degli eventi alluvionali anche sulla base del riconoscimento degli effetti geologici indotti. In tale contesto l'identificazione e la catalogazione delle aree alluvionate rappresenta il punto di partenza per la valutazione del rischio idrogeologico, in quanto tali fenomeni si ripetono nel tempo in aree con caratteri predisponenti. Nel caso delle alluvioni i dati storici, utilizzati in combinazione con quelli geologici e idrologici-idraulici, permettono di valutare il pericolo naturale e il danno associati a tale evento, consentendo la ricostruzione di un dettagliato scenario sul quale basare eventuali modelli per la stima del rischio.
- *Analisi geologica.* La dinamica dei versanti comprende i fenomeni di intensa erosione ed i movimenti in massa o frane. I fenomeni erosionali sono legati quasi esclusivamente all'azione meccanica delle acque dilavanti che per la forza di gravità, si spostano, con velocità variabile, da monte a valle, questo processo, legato alla degradazione fisica delle rocce, non rientra nel presente studio. I movimenti in massa sono costituiti dalla caduta, da lenta a più rapida, o comunque dallo spostamento lento e differenziale di masse rocciose o di materiali sciolti sotto l'azione della gravità. Per la loro forte incidenza morfologica i movimenti franosi si possono ritenere a scala umana, gli agenti principali di modellazione dei versanti. Le cause dei fenomeni franosi si dividono: predisponenti che rendono il territorio più o meno sensibile all'innescarsi di fenomeni franosi e determinanti che provocano la rottura dello stato di equilibrio di un versante. La causa determinante che viene considerata è legata alle precipitazioni intense e/o prolungate, in particolare possiamo considerare due casi:



- piogge intense e brevi (ore o giorni) danno luogo a frane superficiali (profondità < 4m) e generalmente molto diffuse. Per L' Italia diversi autori hanno stabilito che la soglia di precipitazione per l'innescò delle frane superficiali è del 10-15% della Precipitazione Media Annua in uno o, eccezionalmente, due giorni;
- piogge con intensità nella norma stagionale, ma protratte o comunque distribuite con una certa frequenza ed intensità nell'arco di diverse decine di giorni, determinando l'innescò di frane profonde, per le quali non è possibile stabilire una soglia di innescò generalizzata ma bisogna valutare caso per caso.

La previsione sulla possibilità d'innescò dei fenomeni franosi rappresenta uno dei problemi di maggiore interesse nell'uso antropico del territorio, ed in particolare nella redazione di piani di assetto idrogeologico.

I risultati delle analisi a posteriori sono indispensabili per produrre i dati di input, le condizioni al contorno e per calibrare le analisi ex Ante:

- *Studio Idrologico.* Lo scenario di possibile rischio, è direttamente dipendente da eventi pluviometrici caratterizzati da parametri al di sopra della media. L'acqua di pioggia giunta sulla superficie terrestre, a seconda delle condizioni naturali e delle attività antropiche presenti, può infiltrarsi nel sottosuolo, evaporare direttamente, evapotraspirare attraverso le piante oppure scorrere liberamente sulla superficie terrestre, questa ultima parte è sicuramente la più cospicua. Il deflusso superficiale è regolato dalla pendenza del suolo dagli ostacoli (copertura, scabrezza,...) che l'acqua incontra lungo il proprio cammino, defluendo per gravità da monte verso valle fino a raggiungere il livello di base generale rappresentato dal contatto tra superficie terrestre ed acqua marina. La quantità delle acque superficiali che si raccoglie in un bacino imbrifero dipende, oltre che dalle caratteristiche dell'ambiente fisico, dall'entità, durata e tipo delle precipitazioni meteoriche, è dunque di fondamentale importanza approfondire lo studio analitico delle precipitazioni meteoriche per giungere a previsioni ragionevoli sul verificarsi di eventi con valori superiori alla media o addirittura eccezionali e prevedere anche la frequenza degli stessi.
- *Studio Idraulico.* Il fenomeno di piena si presenta quando la precipitazione meteorica provoca una quantità di deflusso superficiale elevata rispetto alle caratteristiche geometriche della rete drenante e le acque superano gli argini invadendo le aree circostanti. Quando il fenomeno è accompagnato da maggiore energia ed unitamente alle acque di deflusso viene trasportato anche materiale solido che si sposta lungo l'alveo, si parla di alluvione, il flusso invade le aree circostanti e viene convogliato

verso valle, depositandosi via via al ridursi dell'energia , in corrispondenza della foce. Grazie alle conoscenze acquisite sulla geomorfologia del bacino, della rete idrografica, all'applicazione dei modelli di calcolo idraulico si giunge alla simulazione della propagazione dell'onda di piena lungo il tratto dell'alveo fluviale e delle aree limitrofe, infine è possibile giungere alla perimetrazione, su base cartografica, delle aree potenzialmente inondabili.

- *Analisi fluidodinamica.* Questa analisi si riferisce alla definizione, caratterizzazione e modellizzazione dell'onda generata dall'impatto di una frana in un corpo idrico. Sicuramente questa tipologia di analisi riguarda un settore di nicchia, infatti non è frequente che siano generate onde con effetti rilevanti sulla popolazione e le strutture, ma quando è accaduto si ricordano come le peggiori calamità naturali. In questo lavoro la simulazione è stata condotta puntando sull'accuratezza del modello e si è condotta una simulazione basata sulla risoluzione numerica delle equazioni complete di Navier-Stokes.

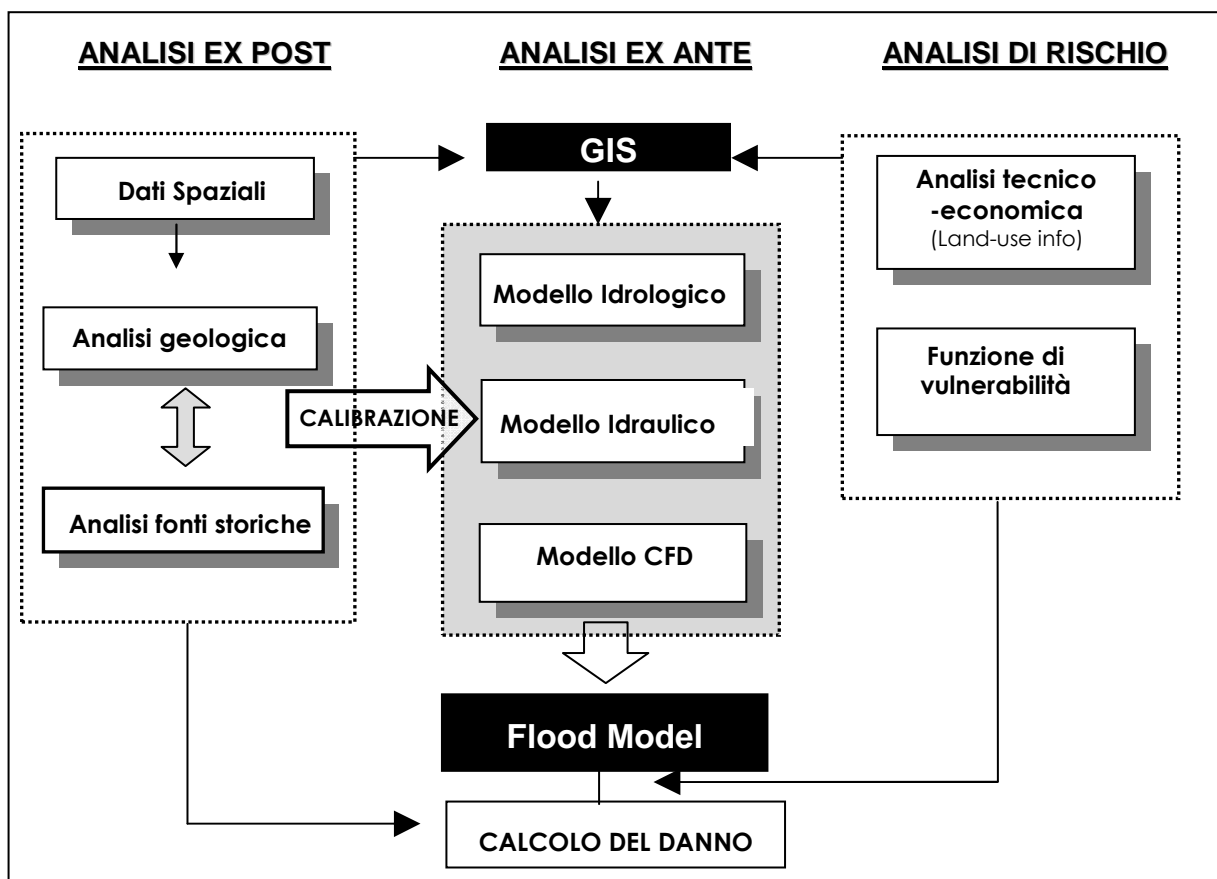


Figura 1-5: Diagramma illustrativo metodologia di analisi

Come illustrato nei paragrafi precedenti, ha senso parlare di rischio nel momento in cui esiste un danno, quindi per completare l'analisi è necessario introdurre i dati tecnico economici dell'area di studio e le relative funzioni di vulnerabilità.

## 1.7 BIBLIOGRAFIA

[1] Di Fidio M. (1996), *Fognature, Ambiente territorio, Pirola*.

[2] Di Giammarco P., Todini E., Consuegra D., Joerin F., Vitalini F. (1994), *Combinig a 2-D flood plain model with GIS for flood delineation and damage assessment*, in: Molinaro P. and Natale L., *Modelling of flood propagation over initially dry areas, proch of the specialty, ENEL-DSR-CRIS, Milano*.

[3] Esposito E., Porfido S., Violante C., Biscarini C., Alaia F., Esposito G., (2004): *Water events and historical flood recurrences in the Vietri sul Mare coastal area (Costiera Amalfitana, southern Italy). Proc of the UNESCO/IAHS/IWHA symp "The Basis of Civilization – Water Science?"*, Rome, IAHS Publ. 286, 95-106.

[4] Esposito E., Porfido S. et al. (2004). "Il nubifragio dell'ottobre 1954 a Vietri sul mare - Costa di Amalfi, Salerno. Scenario ed effetti di una piena fluviale catastrofica in un'area di costa rocciosa" *Pubbl. GNDCI n. 2870, ISBN 88-88885-03-X*.

[5] Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche. GNDCI.CNR. Progetto AVI. *Censimento delle aree italiane storicamente vulnerate da calamità geologiche ed idrauliche. Sistema informativo <http://sici.irpi.cnr.it>*.

[6] Macchia V., Marrone V. (1996), *La valutazione del rischio idraulico tramite la metodologia del V.I.A.. Un contributo alla pianificazione di Bacino e d'area vasta, Tevere vol.2*.

[7] Charles L. Mader, Michael L. Gittings (2002): *Modeling the 1958 lituya bay mega-tsunami. Science of Tsunami Hazards, Volume 20, Number 5 page 241*.

[8] P. Manciola, C. Biscarini, A. Cingolani. (2002). *Mappatura delle aree inondabili. Giornata di studi su Grandi bacini idrografici. Accademia nazionale dei lincei*.

[9] Moser D. (1997) *The use of risk analysis by the US Army Corps of Engineers, Hydrology & Hydraulic Workshop on Risk-Based Analysis for Flood Damage Reduction Studies*

[10] Natale L., Versace P. (1995), *Programmi di previsione e prevenzione del rischio idraulico e geologico, La sistemazione dei corsi d'acqua naturali, Atti del corso di aggiornamento, Programma di Istruzione Permanente- Politecnico di Milano*.

[11] Penning-Rowsell E. C., Chatterton J. B. (1977), *The benefits of flood alleviation*, Saxon House, England.

[12] UNESCO (1997) *World Heritage List. N°830 pp.132-146*.

[13] USACE (1998) *HEC-FDA Flood damage Reduction Analysis. User Manual CPD-72, Version 1. Davis, California*.

[14] *Violante C., Budillon F., Esposito E., Porfido S., Iorio M., Sacchi M., (2002) Sandy tabular bodies offshore Sorrento peninsula (Salerno southern Italy) and their relations with exceptional flooding events. Congresso AIQUA su: "Elementi cronostatigrafici per una correlazione fra successioni marine e continentali: stato delle conoscenze e nuovi dati. Bari, 43, abs.*

**INDICE**

<b>2</b>	<b>FASE CONOSCITIVA .....</b>	<b>30</b>
2.1	INQUADRAMENTO DEL SISTEMA COSTIERO .....	30
2.1.1	<i>Sistema fluviale – costiero .....</i>	<i>31</i>
2.1.2	<i>Classificazione delle coste .....</i>	<i>33</i>
2.2	DATI DI BASE .....	34
2.2.1	<i>Le fonti storiche .....</i>	<i>34</i>
2.2.2	<i>Tipo e uso delle aree interessate da potenziale inondazione .....</i>	<i>43</i>
2.2.3	<i>Dati spaziali .....</i>	<i>43</i>
2.2.4	<i>Tipologia e destinazione d'uso .....</i>	<i>44</i>
2.2.5	<i>Stima del valore del bene .....</i>	<i>46</i>
2.3	SISTEMA INFORMATIVO GEOGRAFICO .....	56
2.3.1	<i>Scheda per il censimento dei beni architettonici .....</i>	<i>58</i>
2.4	BIBLIOGRAFIA .....	61

## 2 FASE CONOSCITIVA

### 2.1 INQUADRAMENTO DEL SISTEMA COSTIERO

La costa è un sistema ambientale complesso che si sviluppa sia in ambiente marino che terrestre [12] (*coastal zone*), ciò comporta un approccio più ampio caratteristico di un sistema integrato. Infatti, la gestione integrata delle zone costiere rappresenta oggi un esercizio complesso sul quale occorre sempre più riversare conoscenze interdisciplinari. La contingenza delle problematiche esistenti già oggi pone la fascia costiera in una evidente condizione di precarietà e di emergenza, ove conflitti sociali sempre più aspri caratterizzano i rapporti tra residenti ed organi amministrativi preposti al governo del territorio. Questo soprattutto alla luce del fatto che oggi circa un terzo della popolazione mondiale vive sulla fascia costiera, e che in essa si trovano tra l'altro straordinarie ricchezze, storico - culturali, ambientali ed economiche. La dinamica dei processi costieri naturali ivi comprese le condizioni climatiche, i meccanismi di trasporto dei sedimenti, nonché gli apporti di acque dai bacini fluviali verso la costa – hanno influenzato la capacità dell'uomo di sostenere le proprie attività nelle zone costiere. Ciò si traduce in rischi maggiori e in un aumento dei costi necessari a sostenere le infrastrutture e le popolazioni residenti in condizioni di instabilità della linea di costa. In talune zone, interventi antropici quali l'ubicazione inadeguata di nuove infrastrutture e l'eccessivo sfruttamento delle risorse hanno esacerbato tali problemi. Le pressioni indotte dall'uomo rischiano di danneggiare gli habitat, la biodiversità ed il paesaggio e di conseguenza la capacità stessa di tali zone di svolgere molte delle loro funzioni essenziali.

In Figura 2-1 sono illustrati in maniera schematica i principali processi che avvengono nell'ambito della *coastal zone*, in questa area di transizione tra acqua e terra si ha l'influenza diretta dei processi idrodinamici marini. La zona si estende verso il largo e in direzione interna lungo fasce nelle quali le influenze dei fenomeni che avvengono in ambito terrestre e marina siano ritenuti apprezzabili.

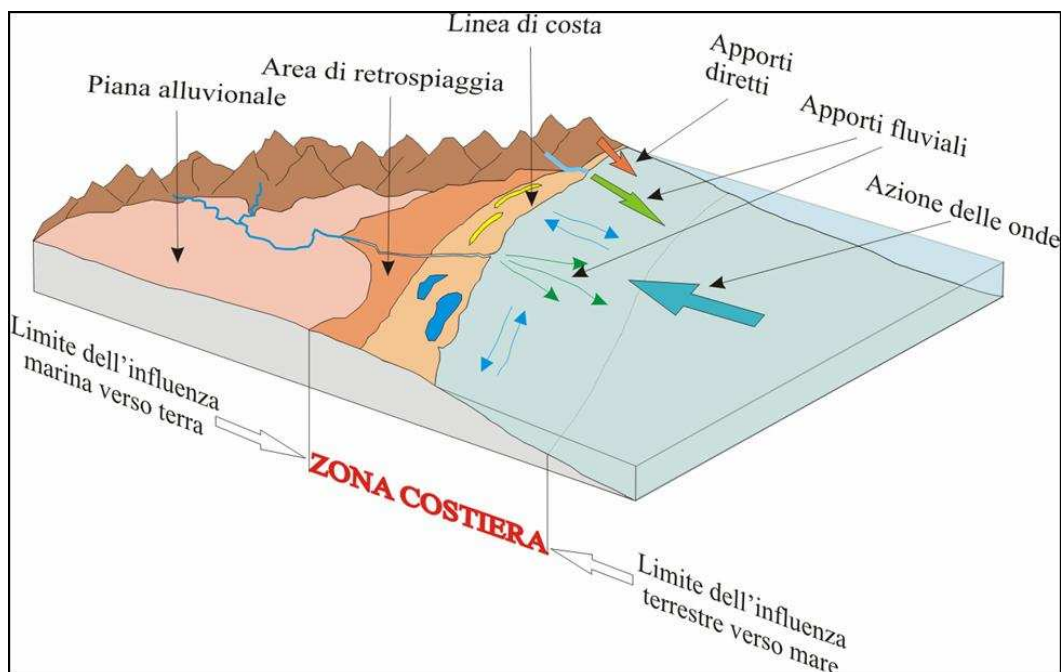


Figura 2-1: Terminologia della zona costiera. (Violante).

### 2.1.1 Sistema fluviale – costiero

Il complesso sistema di interazione tra fiume e costa è frutto di un sottile equilibrio tra supporto di sedimenti fluviali ed accumulo in area di costiera, con interazioni dovute al moto ondoso ed alle maree. Questi sistemi possono essere in generale definiti come delta e possono avere estensioni e caratteristiche molto differenti.

Il modo in cui i sedimenti e l'acqua defluiscono dal fiume verso il mare è determinato da una serie di fattori tra loro interdipendenti, quali differenza di densità tra acqua dolce fluviale e salina di mare, il tipo e la concentrazione di sedimento, altezza dell'acqua, volume di acqua defluita e velocità del fiume [20]. Ciò influenza:

- *inerzia* del flusso del fiume, che è la capacità dell'acqua del fiume di continuare a muoversi nel mare prima di rallentare od arrestarsi;
- *attrito* tra acqua defluente ed il letto e le rive del canale di delta e il fondale del mare immediatamente a valle della foce;
- *spinta di galleggiamento* determinata dalla differenza di densità dei fluidi e/o dalla differenza temperatura.

Quest ultimo è molto significativo nello sviluppo dei sistemi di delta, il galleggiamento è essenziale nella definizione del regime di flusso [12], si possono determinare tre possibili condizioni: flusso omopinale, iperpicinale, ipopicinale.



Il flusso omopicnale (Figura 2-2) è presente quando la densità dell'acqua fluviale e del corpo idrico di ricezione sono praticamente uguali. I sedimenti sono sottoposti al miscelamento turbolento alla foce del fiume e la maggior parte della deposizione avviene in questa zona. Queste condizioni difficilmente si verificano in ambiente marino mentre sono più tipiche di laghi d'acqua dolce.

Quando l'acqua fluviale ha densità maggiore del corpo idrico di ricezione si parla di flusso iperpicnale (Figura 2-3), si verificano queste condizioni quando il flusso in ingresso è più freddo dell'acqua di lago o mare ed è pesantemente carico di sedimenti. La stratificazione tra il flusso freddo in basso e quello caldo sopra è molto accentuato quando il fiume si inserisce in acque profonde. In condizioni di acque poco profonde si creano graduali mescolamenti dunque la stratificazione dei due fluidi non è più netta e può non essere più riconoscibile.

Il flusso ipopicnale (Figura 2-4) si verifica quando l'acqua fluviale è meno densa di quella del corpo idrico ricevente. Queste condizioni comunemente si presentano quando un fiume alla foce si inserisce in acqua di mare. L'acqua dolce si estende come un getto in superficie sopra all'acqua marina più densa e pesante, man a mano che il flusso si allontana dalla foce si stacca dal letto creando sotto di sé un cuneo di acqua salata che separa i depositi di fondo dai sedimenti sospesi. In questa situazione, il detrito grossolano si deposita sulla cima del cuneo di acqua salata, dove il fiume si distacca dal suo letto, mentre i sedimenti di grani fini sospesi sono trasportati con l'acqua di fiume al largo con il flusso galleggiante.

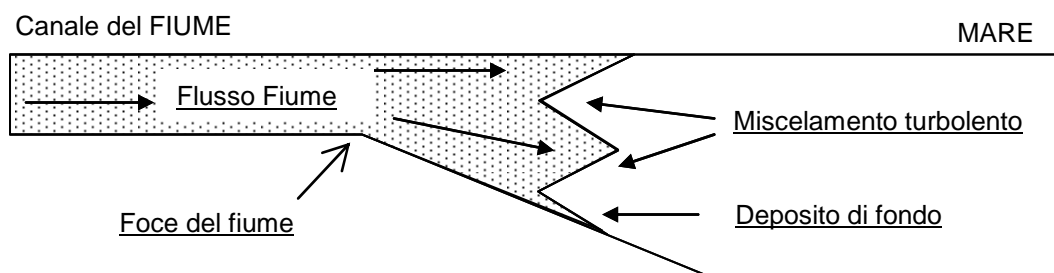


Figura 2-2: Flusso omopicnale, densità fiume = densità mare.

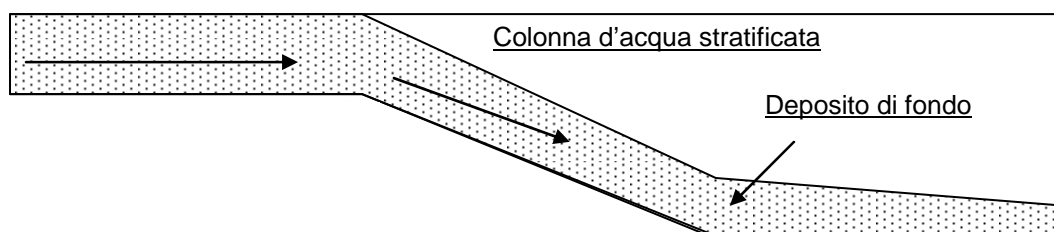


Figura 2-3: Flusso iperpicnale, densità fiume > densità mare.

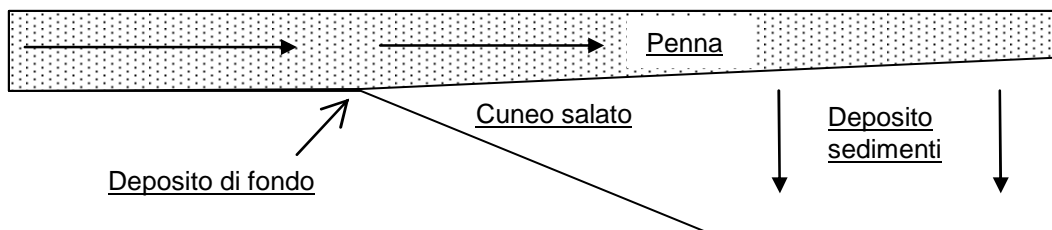


Figura 2-4: Flusso ipopicnale, densità fiume < densità mare.

### 2.1.2 Classificazione delle coste

Non esiste uno schema integrato di classificazione che tenga conto di tutti i fattori che influenzano una costa. Il risultato è una molteplicità di classificazioni dei sistemi costieri che si riferiscono a singoli parametri come il moto ondoso o mareggiate, la geologia o l'assetto tettonico. Le principali classificazioni reperite in letteratura sono di seguito elencate:

- Nel 1888 E. Suess [21] definì una classificazione basata sulle strutture geologiche e l'orientamento relativo alla tendenza generale della costa, sono state individuate due principali categorie. Tipo Pacifico, con orientamento della giacitura della struttura della roccia parallelo alla linea di costa. Questa tipologia è anche conosciuta come concordante o concordante, in questo caso spesso lungo la linea di costa sono presenti delle interruzioni con baie. La costa della Dalmazia nel Mediterraneo è un eccellente esempio di costa di tipo Pacifico. Tipo Atlantico, con orientamento delle strutture di roccia perpendicolare alla linea di costa. Questa tipologia è anche detta discordante ed è caratterizzata da promontori e baie, rientra, ad esempio, in questa categoria la costa sud ovest dell'Irlanda.
- Nel 1899 Gulliver [11] fece una distinzione tra costa emersa e sommersa.
- Nel 1936 Aufrère [1] propose una classificazione basata sul clima, con categorie che vanno da coste con ghiacci permanenti, con ghiacci stagionali, con temperatura umida, arida, ecc..
- Cotton (1952) [5] propose una distinzione tra regioni di costa stabili o mobili.
- La distinzione tra coste alte e coste basse fu suggerita da De Martonne (1909) [7] che propose anche una ulteriore distinzione morfologica alla base della classificazione con vari sotto tipi, alcuni descrittivi (coste con estuario, ecc...) altri generici (coste di faglia, galeali...). Ottmann nel 1965 [18] seguì un simile approccio consigliando cinque classi : da A a D per coste rocciose la cui configurazione non è il risultato di processi marini, E per coste che sono avanzate grazie ai depositi quindi con configurazione che risulta principalmente da agenti o organismi marini.

- Una versione aggiornata dello schema di Suess è stata proposta da Inman e Nordstrom (1971) [14], che suggerirono una classificazione basata sulla tettonica delle placche, riconoscendo che la crosta terrestre è un insieme di placche separate da zone di convergenza e divergenza con margini che si muovono ad intervalli di 15 centimetri per anno. Si riconoscono le coste in subduzione, coste *trailing-edge* e coste di mare marginale.
- Davies nel 1980 propose una classificazione basata sui processi costieri.

## **2.2 DATI DI BASE**

### *2.2.1 Le fonti storiche*

Da molti anni ormai l'uso di dati e documenti storici, nell'ambito delle problematiche connesse ai disastri naturali, ha assunto un ruolo importante: tali informazioni, talvolta preziose, insieme all'indagine geologica e geofisica consentono di ampliare e approfondire la conoscenza delle dinamiche ambientali. L'uso di questi dati poi, diventa sistematico e di fondamentale importanza quando si deve far riferimento a dissesti, sia di natura endogena sia di natura esogena, avvenuti in epoche lontane.

Gli obiettivi della ricerca storica nel campo della mitigazione degli effetti di eventi naturali estremi, con particolare attenzione alla salvaguardia del patrimonio culturale, possono essere sintetizzati in due filoni principali di ricerca:

- Analisi di pericolosità: ricostruzione degli scenari di danneggiamento per eventi del passato mediante la raccolta di informazioni sul livello e sulla distribuzione areale dei risentimenti
- Analisi di vulnerabilità: ricostruzione della storia architettonico-strutturale degli elementi oggetto di analisi di rischio; la ricerca viene focalizzata su specifici elementi architettonici o urbanistici, per i quali si cercano tutte le informazioni relative alle caratteristiche tecnico-strutturali ed ai danneggiamenti subiti dalle strutture nel passato

Un primo approccio alla raccolta di dati storici si basa essenzialmente su notizie raccolte da Internet (AVI, GNDT, ecc.) e nell'ambito delle pubblicazioni più conosciute del settore. All'indiscusso vantaggio di risparmio in termini di tempo e di costi del personale – la ricerca può essere effettuata anche da personale non particolarmente esperto nel settore delle ricerche bibliografiche e/o archivistiche – si ha, come risultato, una ricerca non molto approfondita e dettagliata degli eventi, talvolta non del tutto affidabile, in grado tuttavia di fornire indicazioni

di massima sia sulla tipologia di rischio ambientale, sia della massima intensità per categoria di eventi in una determinata area geografica.

Per un'indagine di tipo più analitico, oltre alla ricerca di dati prevista nella fase precedentemente descritta, è necessario un approfondimento sia nella ricerca di notizie, sia in termini di analisi filologica e di affidabilità delle notizie raccolte. In questo caso la ricerca deve necessariamente essere condotta da personale esperto, con un maggior dispendio quindi in termini di tempo e di costo del personale ma con un prodotto di maggiore dettaglio e affidabilità, in grado quindi non solo di soddisfare le necessità già esposte ma anche di fornire altri elementi di dettaglio quali per esempio: l'intensità dell'evento, i danni, il numero di vittime, i tempi di ritorno, ecc.

La scelta delle metodologie da adottare varia quindi in base alle diverse esigenze da affrontare e alla disponibilità sia di risorse economiche, sia del personale (vedi Tabella 2-1).

TIPI DI APPROCCIO	I FASE DI RICERCA	II FASE DI RICERCA	III FASE DI RICERCA	RISULTATI	PREGI E LIMITI
ANALISI DEL CONOSCIUTO	Cataloghi, Internet, ecc.	No	No	Lista degli eventi; descrizione degli effetti eseguita sulla base degli autori precedenti.	Minori costi in termini di tempo e di personale impiegato. Minore affidabilità dei dati raccolti
APPROCCIO AL TERRITORIO	Cataloghi, Internet, ecc.	Ricerche Bibliografiche, ricerche d'archivio	Analisi e critica sull'affidabilità dei dati raccolti	Lista degli eventi. Notizie particolareggiate degli eventi (descrizione dei danni, delle vittime, ecc.) Possibilità di nuovi dati per nuovi eventi censiti	Maggiore dispendio in termini di tempo e di costo del personale. Maggiore affidabilità dei dati raccolti.

Tabella 2-1: Metodologie per la ricerca storico-ambientale.

I dati, così raccolti ed esaminati, possono, in taluni casi, costituire già una base per la conoscenza del territorio e, nel caso siano ancora insufficienti, un buon punto di partenza per ulteriori indagini.

In quest'ultimo caso, le ulteriori ricerche devono essere svolte, necessariamente, previa una pianificazione del lavoro che consiste principalmente nei seguenti passi:

1. Elenco degli eventi noti

2. Bibliografia delle fonti e degli eventuali e ulteriori riferimenti bibliografici
3. Ricerca di nuove informazioni e di nuove fonti informative presso biblioteche, archivi, catasti, sovrintendenze ecc.

Se per la ricerca attraverso cataloghi si richiede un minimo di esame critico delle fonti considerate utili, in questa fase non solo diventa necessario l'esame critico delle fonti ma addirittura essenziale anche una conoscenza del periodo storico esaminato e degli autori.

Vengono affrontati i temi relativi al tipo di informazione che può essere ricostruita per mezzo della ricerca storica; le diverse modalità di formazione, registrazione e diffusione; le procedure di ricerca, analisi, interpretazione e sintesi del dato storico.

Considerando il differente punto di vista con il quale può essere affrontata l'analisi storica, a seconda che si conducano studi sulla pericolosità ambientale (ricorrenza di eventi di una determinata categoria nel corso del tempo) o la vulnerabilità di specifici beni culturali (tipo di risposta di determinate strutture o tessuti urbanistici a sollecitazioni indotte da eventi naturali), questi due aspetti vengono trattati separatamente:

- analisi delle dinamiche ambientali (pericolosità), per la qualificazione e la quantificazione delle varie tipologie di eventi naturali che hanno interessato una determinata area geografica
- analisi storico-architettoniche (vulnerabilità), per la ricostruzione delle caratteristiche costruttive e le vicende ambientali ed antropiche

Riguardo all'analisi delle dinamiche ambientali vengono descritti i dati utili per la ricostruzione degli scenari di danneggiamento prodotti da eventi naturali, allo scopo di valutare i livelli di esposizione di determinate aree geografiche. In particolare vengono affrontate le problematiche relative a:

- produzione delle descrizioni di effetti locali
- analisi della trasmissione dell'informazione nel corso del tempo
- metodologie di analisi e validazione del dato storico
- sintesi dell'informazione storica

L'analisi storico-ambientale utilizza informazioni documentarie per ricostruire gli scenari d'impatto di eventi naturali del passato sul contesto ambientale ed antropico dell'epoca. Dal momento che le informazioni di base di tali analisi sono essenzialmente di natura descrittiva, è

necessario applicare una metodologia di lavoro sistematica, trasparente e riproducibile, in modo da rendere i risultati omogenei e confrontabili.

Ogni evento deve essere studiato considerando il contesto storico e culturale nel quale si colloca, in modo da ricostruire più realisticamente il quadro degli effetti che esso ha prodotto. Altrettanto chiaro deve essere il processo culturale e sociale innescato da un evento naturale, attraverso il quale si può avere la produzione di informazioni storico-documentarie tramandate alle generazioni successive.

Nella Figura 2-5 vengono sintetizzati i fattori che possono influenzare la produzione di informazione storica evidenziando, a seconda del tipo di evento naturale considerato, l'impatto sul contesto socio-economico in generale e su manufatti, popolazione ed ambiente.

Relativamente ad uno specifico evento naturale, di qualsiasi natura, una fonte storica può essere definita come una testimonianza diretta, contemporanea ed autorevole per quell'evento. I metodi per la valutazione di queste caratteristiche sono essenzialmente di analisi storica e testuale della documentazione disponibile.

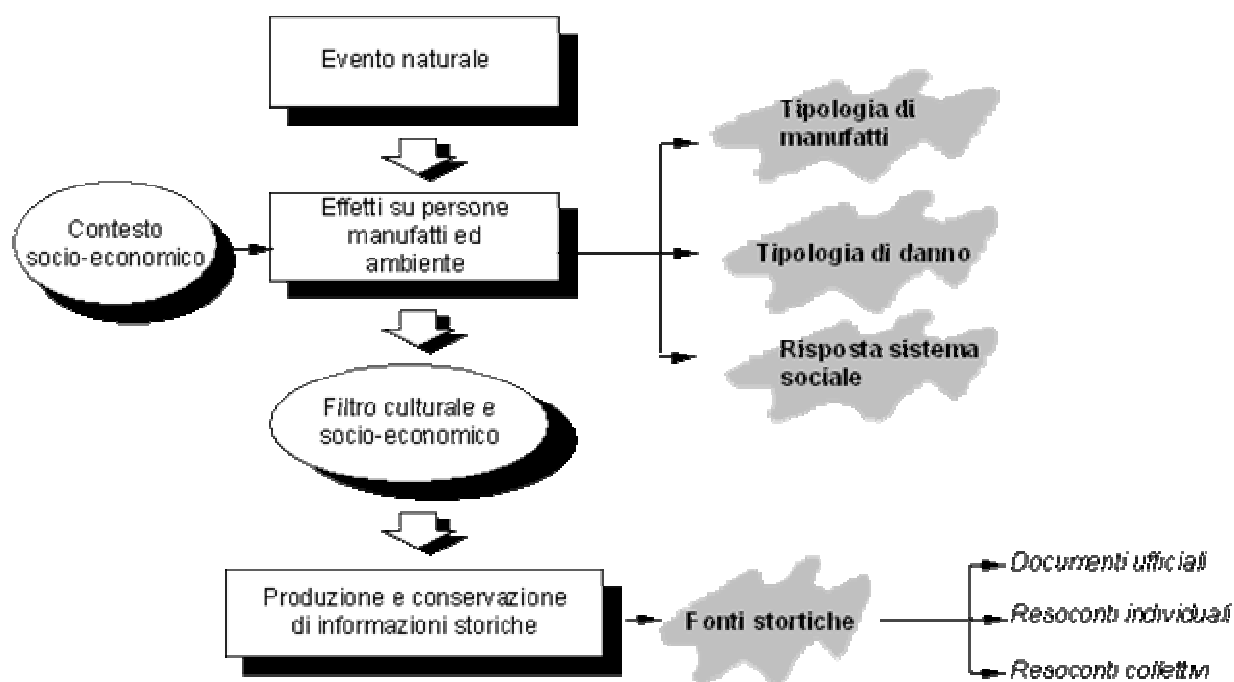


Figura 2-5: Processo di produzione e registrazione di informazioni su eventi naturali.

In prima approssimazione, le principali informazioni che vengono raccolte dalle fonti storico-documentarie si riferiscono a:

- tipo di evento naturale;

- data dell’evento;
- località colpite da un evento naturale;
- descrizione degli effetti e danni sofferti da ogni località.

Le strategie di ricerca ed il livello di approfondimento dell’analisi si differenziano a seconda del tipo di evento naturale e della sua estensione geografica. Da questo punto di vista possono essere identificate due categorie di eventi: quelli caratterizzati da una limitata estensione areale (ad esempio frane che coinvolgono piccole porzioni di un centro urbano) ed eventi che coinvolgono diversi centri urbani (come accade in caso di terremoto o di alluvioni estese ad ampie piane fluviali).

- eventi locali: in questo caso la ricerca storica si focalizza sulla raccolta delle descrizioni dei danni locali e sull’evoluzione del fenomeno
- eventi areali: l’analisi procede con due passi successivi, con i quali si raccolgono prima i dati locali per descrivere l’impatto dell’evento nelle singole località colpite; successivamente si aggregano le informazioni in modo da ricostruire lo scenario di danno generale dell’evento e la sua evoluzione globale.

La raccolta delle informazioni sugli effetti provocati da un evento naturale estremo segue un percorso che può essere così sintetizzato (Figura 2-6):

- raccolta delle informazioni storiche sugli effetti provocati dell’evento naturale sulla popolazione, i manufatti e l’ambiente
- raccolta delle informazioni sul contesto socio-economico del territorio colpito dall’evento naturale
- classificazione ed interpretazione storica dei dati documentari
- elaborazione di tabelle località/fonti per ogni località colpita, riassunti tutte le informazioni storico-documentarie raccolte
- sintesi delle informazioni storico-documentarie e ricostruzione degli scenari di danno provocati dall’evento naturale

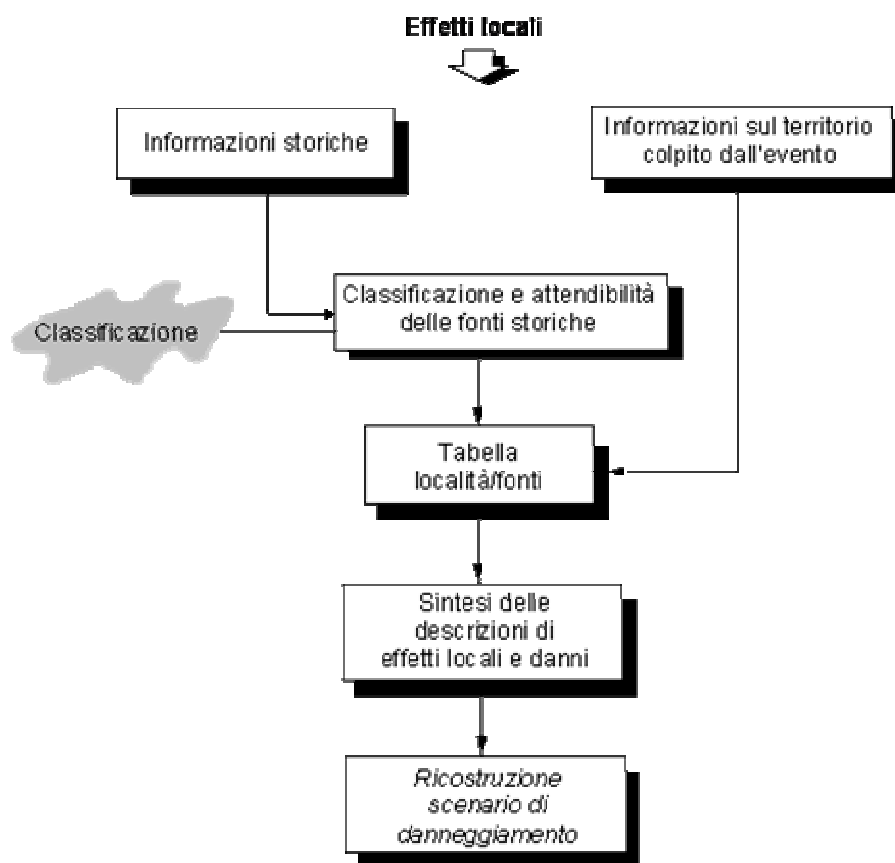


Figura 2-6: processo di raccolta ed elaborazione di informazioni storico-ambientali

L'analisi delle informazioni storiche mediante tabelle località/fonti permette un controllo delle modalità di diffusione delle stesse informazioni nel corso del tempo, consentendo una valutazione della loro attendibilità. Nell'esempio riportato in Tabella 2-2 sono mostrati alcuni dei casi più frequenti ed interessanti di diffusione dell'informazione storica

<b>FORTE</b> <b>Località</b>	<b>CONTEMPORANEA</b> <b>ALL'EVENTO W</b>	<b>INTERMEDIA</b> <b>X</b>	<b>INTERMEDIA</b> <b>Y</b>	<b>ODIERNA Z</b>
<b>Località A</b>	<i>notizia 1</i>	notizia 1 (fonte W)		notizia 1 (fonte W e X)
<b>Località B</b>	<i>notizia 2</i> + <i>notizia 3</i>		<i>notizia 2</i> (senza fonte)	<i>notizia 2</i> (fonti W e Y) + <i>notizia 3</i> (fonte W)



<b>Località C</b>			<i>notizia 4</i> (senza fonte)	<i>notizia 4</i> (fonte Y)
<b>Località D</b>	<i>notizia 5</i>	<i>notizia 5</i> (fonte W)	<i>notizia 5</i> (senza fonte) + <i>notizia 6</i> (senza fonte)	<i>notizia 5</i> (fonti W, X e Y)

Tabella 2-2: Esempio di tabella località/fonti. Le fonti sono ordinate cronologicamente da sinistra (fonte contemporanea all'evento) a destra (fonte odierna). Tipologia Evento: (es. Frana) ; Data evento: (giorni, mese, anno / ora, minuti, secondi)

La fase interpretativa delle informazioni storiche, eseguita mediante il confronto con le definizioni date dalle scale di intensità degli eventi naturali (ad esempio le scale macrosismiche), permette la parametrizzazione degli effetti locali e la ricostruzione analitica degli eventi.

Da questa analisi è possibile sintetizzare le informazioni storiche, compilando un quadro generale dei singoli eventi naturali che, oltre alla tipologia di evento, la data e l'area geografica colpita, evidenzia la distribuzione dei danni e l'evoluzione temporale dell'evento stesso. Nella Tabella 2-3 viene mostrato un esempio di sintesi delle informazioni storiche relative ad un evento di piena che ha colpito i bacini dei fiumi Tevere ed Aniene nel 1959.

Progetto AVI - Catalogo delle informazioni sugli Eventi di Piena

**Informazioni generali sull'evento**

**Data :** 3/12/1959

**Ambiente fisiografico :** Pianura

**Località colpite :** Garigliano (lungo la valle del fiume) - Castel Madama (Comune di) - Palidoro - Palo - Castel Giubileo - Castel Giubileo - Prima Porta - Roma - Montesacro - Subiaco - Tevere (lungo la valle del fiume)

**Bacino/i:** Tevere - Aniene –

**Corsi d'acqua:** F. Aniene - F. Arrone - F. Garigliano - F. Tevere - Marrana di Prima Porta

**Cause innescanti**

**Principale:** Evento meteorologico

**Informazioni ideologiche**

Il livello idrometrico del Tevere all'idrometro di Ripetta supera i 12 m.

**Informazioni sui danni**

**Ai beni** Edifici civili - Case sparse (Grave)

**Alle persone** Sfolati n.359

**Effetti indiretti** Franamenti

*Tabella 2-3: esempio di sintesi delle informazioni storiche relative ad uno specifico evento naturale. Dal Sistema Informativo sulle Catastrofi Idrogeologiche (SICI), Archivio del Progetto AVI – Aree Vulnerate Italiane. Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche. Url: <[http://www.gndci.pg.cnr.it/si/welcome\\_it.htm](http://www.gndci.pg.cnr.it/si/welcome_it.htm)>.*

Sulla base di queste ricostruzioni è possibile stilare le storie ambientali locali, indispensabili per la realizzazione di corrette analisi di pericolosità. La successiva Tabella 2-4, mostra la successione di eventi franosi che è stato possibile identificare per l'area del comune di Piazza Armerina in provincia di Enna.

Regione - **Sicilia**

Provincia - **Enna**

Nel Comune di **Piazza Armerina** sono state censite 18 Frane

Numero	Località	Data	Ambiente fisiografico
11100599	Piazza Armerina - Costa San Francesco	--/--/----	Collina
11100600	Piazza Armerina - Zona sottostante il centro storico	--/--/----	Collina
1100063	Piazza Armerina - A nord dell'abitato	2/1/1973	Collina
3100439	Piazza Armerina	--/--/1980	Collina
1100101	Piazza Armerina	17/1/1985	Collina
3100596	Piazza Armerina	--/--/1986	Collina
7100087	Piazza Armerina	12/10/1991	Montagna
7100088	Piazza Armerina - Quartiere Monte	28/1/1992	Montagna
9100205	Contrada Serrafina	4/5/1995	Montagna
9100210	Piazza Armerina - Quartiere Monte	--/--/1996	Montagna
9100209	Piazza Armerina - Quartiere Canali (zona Fradonello)	--/3/1996	Montagna
9100208	Piazza Armerina - Lungo la SS n. 288 presso il Bivio di Bellia Aidone	--/3/1996	Montagna
9100206	Piazza Armerina - Lungo la SS n. 117 bis	13/1/1996	Montagna
9100207	Piazza Armerina - Lungo la SS n. 117 bis all'altezza del Parco	27/3/1996	Montagna

Ronza			
9100211	Piazza Armerina - Lungo la SP n. 15 per Barrafranca	9/12/1996	Montagna
11100205	Piazza Armerina - Strada Fontanelle	22/8/1997	Collina
11100133	Piazza Armerina	8/10/1997	Collina
11100241	Piazza Armerina - In corrispondenza dell'ingresso nord dell'abitato	--/10/1998	Collina

*Tabella 2-4: elenco delle frane relative al sito di Piazza Armerina (EN). Dal Sistema Informativo sulle Catastrofi Idrogeologiche (SICI), Archivio del Progetto AVI – Aree Vulnerate Italiane. Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche. Url: <[http://www.gndci.pg.cnr.it/si/welcome\\_it.htm](http://www.gndci.pg.cnr.it/si/welcome_it.htm)>.*

Inoltre, tali informazioni sono fondamentali per l'interpretazione e la parametrizzazione degli eventi storici

Nella valutazione del livello di vulnerabilità di elementi architettonici o urbanistici soggetti a rischi ambientali è molto importante descrivere dettagliatamente le caratteristiche tecnico-strutturali degli edifici vulnerati.

Tali informazioni possono essere raccolte sia mediante il sopralluogo e la schedatura diretta, sia mediante ricerche storiche. Ovvero, una ricostruzione, basata sull'analisi di fonti storico-documentarie delle fasi edificatorie, delle diverse destinazioni d'uso, delle modifiche ed integrazioni strutturali, dei restauri eseguiti nel corso del tempo, e così via.

Le informazioni storiche reperibili variano a seconda degli elementi considerati; sotto questo aspetto possiamo identificare due tipologie principali:

1. Elementi urbanistici e centri storici.

Ricostruzione delle modalità di sviluppo urbanistico nel corso del tempo, l'evoluzione del modellamento morfologico eventualmente nascosto dall'opera di urbanizzazione, la datazione delle diverse aree urbanizzate, la variazione delle tecniche edilizie e dei materiali usati nel corso del tempo.

2. Beni monumentali o singole strutture di interesse culturale.

La ricostruzione, e relativa datazione, delle fasi di realizzazione, delle modifiche apportate rispetto ai progetti originari, della successione di danneggiamenti subiti dall'opera nel corso del tempo e le relative opere di restauro, di fatti o situazioni che possano aver indotto lesioni, discontinuità ed aree di debolezza strutturale, non rilevabili a vista, la cui identificazione richiederebbe approfondite ed onerose analisi in sito o di laboratorio.

### 2.2.2 *Tipo e uso delle aree interessate da potenziale inondazione*

Per poter stimare i danni sui diversi oggetti presenti sul territorio è necessario disporre di informazioni relative a:

- distribuzione piano altimetrica posizione di beni, attività ed infrastrutture all'interno dell'area di inondazione;
- tipologia e destinazione d'uso;
- valore commerciale o sociale;
- vulnerabilità (percentuale del valore del bene che viene perduta in relazione all'intensità della piena).

La necessità di associare agli oggetti, dotati di una precisa referenziazione spaziale, una serie di informazioni alfanumeriche relative alle categorie suddette rende ancora una volta indispensabile il ricorso a sistemi G.I.S.

### 2.2.3 *Dati spaziali*

La rappresentazione dell'uso del suolo e delle attività socio economiche viene effettuata mediante carte tematiche, prodotte da vari Enti con competenze territoriali. Le modalità utilizzate e la classificazione proposta possono considerarsi uno standard di riferimento [3] [2].

I diversi oggetti presenti sul terreno, nelle rappresentazioni cartografiche vettoriali comunemente utilizzate, sono rappresentati attraverso tre principali categorie:

- poligoni, per la rappresentazione di aree estese (aree agricole, zone edificate, ...);
- linee, per la rappresentazione delle infrastrutture a rete (strade, ferrovie, ...);
- punti, per la rappresentazione di elementi discreti (case sparse, impianti di servizio, ...).

Di norma l'impatto dei fenomeni di inondazione sulle infrastrutture a rete non è facilmente valutabile in termini quantitativi riguardo agli effetti sull'interruzione di servizio e sul danno connesso. Infatti, il danno associato a questa categoria è principalmente di tipo indiretto, quale conseguenza dell'interruzione di servizi, ritardi nelle operazioni di trasporto merci, ecc.

Per quanto riguarda gli elementi puntuali è opportuno assegnare ad essi una dimensione spaziale, convertendoli in elementi poligonali per uniformare le procedure di calcolo. Lo sviluppo planimetrico di questi oggetti si ottiene di norma in modo convenzionale o mediante perimetrazione degli stessi sulla base della documentazione cartografica disponibile.

La cartografia di base e tematica reperita per l'elaborazione del caso di studio Figura 2-7, è stata inserita in un sistema informativo come punto di appoggio per le elaborazioni di dettaglio.

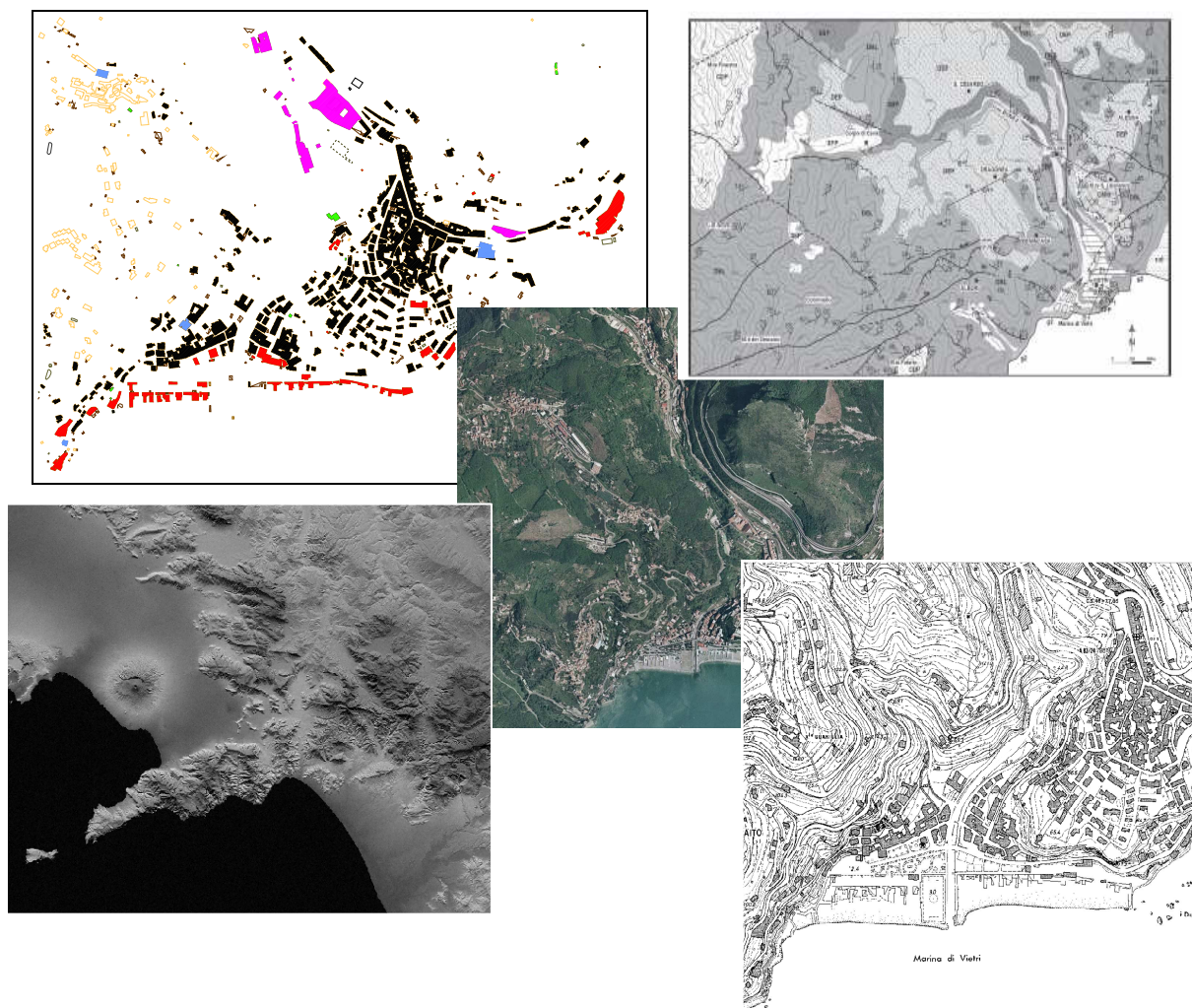


Figura 2-7: Cartografia di base dell'area del bacino del torrente Bonea.

#### 2.2.4 Tipologia e destinazione d'uso

Per la valutazione del danno è indispensabile disporre di una descrizione accurata dell'uso del suolo e delle tipologie di beni presenti sul territorio, come base preliminare alla stima dei valori unitari (sia della struttura, sia del contenuto per quanto riguarda le zone edificate), alla definizione di categorie di danno ed alla scelta di curve di vulnerabilità.

Un'efficace classificazione del suolo per queste finalità è illustrata in Figura 2-8, .in legenda è presente la descrizione sintetica delle tipologie merceologiche considerate.

Il grado di dettaglio di tale carta può ritenersi sufficientemente adeguato per gli scopi del presente studio, anche se risultano indispensabili alcune precisazioni














LEGENDA	
AREE PREVALENTEMENTE RESIDENZIALI	
<b>Rc</b>	Edificato continuo
<b>Rd</b>	Edificato discontinuo
<b>+</b>	Insedimenti sparsi
AREE PER SERVIZI	
<b>Sh</b>	Ospedali
<b>Sa</b>	Areoporti
<b>Si</b>	Scuole
<b>Sf</b>	Stazioni ferroviarie
AREE VERDI ATTREZZATE	
<b>Vp</b>	Parchi e giardini
INFRASTRUTTURE TECNOLOGICHE	
<b>Td</b>	Depuratori
<b>Ts</b>	Discariche
AREE AGRICOLE	
<b>Ai</b>	Seminativi irrigui
<b>Aa</b>	Seminativi asciutti
<b>At</b>	Colture orticole
<b>Av</b>	Vigneti
<b>Ao</b>	Oliveti
<b>Af</b>	Frutteti
AREE DI ESCAVAZIONE	
<b>Ca</b>	Cave-impianti di lavorazione
VEGETAZIONE	
<b>Vb</b>	Masse boscate
<b>Vr</b>	Boschi ripariali
<b>Va</b>	Impianti arborei lineari
CORSI D'ACQUA E SISTEMAZIONI DEL SUOLO	
	Tevere-affluenti
<b>Co</b>	Specchi d'acqua (naturali-artificiali)
	Dighe e sbarramenti
	Ponti e viadotti
RETI INFRASTRUTTURALI	
	Autostrade-superstrade (in rilevato)
	Autostrade-superstrade (a raso)
	Autostrade-superstrade (in trincea)
	Statali
	Provinciali
	Comunali
	Ferrovie (in rilevato)
	Ferrovie (a raso)
	Ferrovie (in trincea)
<b>Pa</b>	Pertinenza autostradale, svincoli, stazioni di servizio...
	Gallerie (autostrade-ferrovie-s.statali s.provinciali-s.comunali)

Figura 2-8: Tipologie d'uso del suolo[3].

Di solito le aree poligonali per l'assegnazione dell'uso del suolo vengono ricavate mediante tecniche di interpretazione più o meno automatiche a partire dalle ortofotocarte delle aree di studio; pertanto, la perimetrazione coinvolge in molti casi, intere zone in maniera generalizzata. Ad esempio, la categoria "edificato discontinuo" comprende poligoni tracciati a contorno di

zone più o meno densamente edificate che racchiudono al loro interno anche porzioni di suolo in realtà non occupato da edifici.

Ciò richiede, pertanto, l'introduzione di un coefficiente riduttivo, indicato come *coefficiente di densità*  $C_d$ , tale da consentire la disaggregazione delle aree non vulnerabili e, quindi, la stima più accurata del danno conseguente ad un'ipotetica inondazione.

Dove le unità abitative si susseguono senza soluzione di continuità, come nelle aree di "edificato continuo", non si dispone di solito di informazioni sulle tipologie immobiliari o sulla presenza di attività commerciali; anche in questo caso dovranno essere introdotti coefficienti di ragguaglio del valore commerciale di beni interessati dall'evento. Infine, per quanto riguarda gli aspetti più operativi, si raccomanda che la produzione di carte d'uso del suolo tenga conto della possibile fruizione sia in ambiente Autocad®, sia in ambiente ArcView®, prevedendo relazioni di inclusione ed intersezione tra elementi e l'attribuzione di caratteri topologici agli stessi.

### 2.2.5 *Stima del valore del bene*

Per procedere alla stima del danno prodotto dall'inondazione di una determinata area, è necessario quantificare preliminarmente il valore dei beni interessati dall'evento. Tale valore, nel caso dell'edificato ad uso abitativo, produttivo e di servizio deve considerare, sia il valore della struttura ( $V_s$ ), sia il valore dei beni in essa contenuti ( $V_c$ ). Infatti, secondo l'approccio classico proposto da U.S. Hydrologic Engineering Center [22], vengono distinti il valore della struttura ed il valore del contenuto.

Entrambi i valori dipendono dalla tipologia merceologica e dalla destinazione d'uso del bene: il primo è ricavabile a partire dai prezzi di mercato della zona di interesse; il secondo è generalmente stimato assumendo una relazione di diretta proporzionalità fra il valore della struttura e dei beni in essa contenuti, definendo per le diverse tipologie merceologiche il valore  $C_s$ , del rapporto "valore contenuto/valore struttura".

Di solito, i valori unitari ( $\text{€}/\text{m}^2$ ) relativi alla sola struttura sono desumibili, come sarà meglio descritto di seguito, dall'Osservatorio del Mercato Immobiliare dell'Agenzia del Territorio - Ministero dell'Economia e delle Finanze.

La scelta del valore da assumere per la stima del danno da inondazione può allora essere fatta secondo i seguenti criteri:

- i dati relativi al tipo di bene ed alla sua locazione sono ricavati direttamente dalla carta di uso del suolo su cui siano stati tracciati anche i confini comunali;

- la scelta più corretta del valore di riferimento del bene danneggiato deve orientarsi sul valore che rappresenta l'effettivo prezzo di mercato del bene, in questo caso, posto ragionevolmente che il bene sia danneggiato dall'inondazione non in modo completo, ma solo per una frazione del proprio valore totale, si deve assumere un danno percentuale massimo inferiore all'unità;
- in alternativa, si può calcolare il costo di ristrutturazione come differenza tra i valori "ristrutturato" e "da ristrutturare", ed assumere questo come valore unitario del bene, salvo adottare curve di vulnerabilità variabili nell'intervallo [0,1], estremi compresi; ciò equivale ad ammettere che il danno massimo coincida con la condizione di ristrutturazione completa dell'immobile.
- per quanto riguarda il range di variazione, è opportuno riferirsi ai valori medi dell'Osservatorio del Mercato. Purché uniforme sull'intera area di studio, tale scelta risulta comunque ininfluenza ai fini dello sviluppo delle analisi.

Le quantità così stimate rappresentano i possibili valori unitari di riferimento per la stima dei danni da piena, una volta che sia espressa la legge di vulnerabilità.

Un'ultima considerazione riguarda gli edifici destinati a pubblici servizi (scuole, ospedali, ecc.) Si può ritenere ragionevolmente corretto un valore unitario della struttura analogo a quello di edifici ad uso abitativo adiacenti. Differenze sostanziali riguarderanno invece il valore del contenuto, come verrà meglio descritto a breve.

Per quanto riguarda invece il contenuto, valori medi del rapporto contenuto/struttura per le diverse destinazioni d'uso sono disponibili in letteratura ([22], [6]) e ne è riportato un esempio in Tabella 2-5:

<b>Valore Medio del Contenuto degli Edifici</b>	
<b>Edifici</b>	<b>Contenuto / Struttura</b>
<b>Uso</b>	<b>Valore</b>
<i>Residenziale</i>	0,5
<i>Negozi</i>	2
<i>Centri Commerciali</i>	2
<i>Industrie</i>	3,5
<i>Servizi Pubblici</i>	2

Tabella 2-5: Valori del rapporto contenuto/struttura ([6]P. De Lotto, G.Testa)



Nei casi più frequenti, è opportuno equiparare le classi “case sparse” e “edificato discontinuo” alle tipologie edilizie residenziali descritte in letteratura.

Per quanto riguarda l’edificato continuo, generalmente coincidente con le zone centrali di città o frazioni ad alta densità abitativa, andrà invece messa in conto la presenza frequente di edifici a molteplice destinazione d’uso (es. negozi al piano terra di unità abitative). Per questa categoria, quindi, il coefficiente,  $c_s$ , che esprime il rapporto “*valore contenuto/valore struttura*” può essere stimato con la relazione empirica [22]:

$$\text{Eq. 2-1} \quad c_s = 0.5 * (1 - C_n) + 2 * C_n$$

nella quale,  $C_n$ , rappresenta la quantità di attività commerciali presenti nel centro abitato, calcolata come della superficie occupata da attività commerciali e la superficie totale della zona; tali rapporti percentuali sono di norma pubblicati da studi prodotti da Istituti di Ricerca Regionali. Moltiplicando i coefficienti suddetti per il valore totale della struttura si ottiene il *valore totale del contenuto* ed infine, dalla somma dei due, il *valore totale* del bene.

Ricordando che:

- $V_c$  = valore contenuto;
- $V_s$  = valore struttura;
- $V_t$  = valore totale;
- $V_r$  = valore ragguagliato all’area;
- $c_s$  = rapporto valore contenuto e valore struttura;
- $C_d$  = coefficiente di densità.

Si ottiene:

$$\text{Eq. 2-2} \quad V_s/V_c = c_s \Rightarrow V_c = V_s \cdot c_s$$

$$\text{Eq. 2-3} \quad V_t = V_c + V_s$$

$$\text{Eq. 2-4} \quad V_r = V_t \cdot C_d$$

Nel caso in cui i beni a rischio siano di particolare pregio artistico, architettonico o storico e comunque non riconoscibili in precise categorie note in letteratura si può procedere nel modo seguente.

Il valore è un elemento adimensionale, appartenente ad una *scala di pregio* definita da un esperto in materia in grado di quantizzare il pregio dei beni a rischio relativamente al loro valore artistico.

In definitiva potrà risultare una tabella (Tabella 2-6) in cui è riportata la scala, la descrizione del bene ed eventualmente qualche commento che motivi il tipo di collocazione all'interno dell'intervallo di valori.

SCALA	DESCRIZIONE	COMMENTI
1	.....	.....
2	.....	.....
3	.....	.....
4	.....	.....
5	.....	.....
6	.....	.....
7	.....	.....
8	.....	.....
9	.....	.....
10	.....	.....

Tabella 2-6: *Scala di pregio del bene a rischio*

La definizione del numero delle classi e la scelta da associare al bene in questione è rimandata a personale tecnico specializzato.

E' buona regola utilizzare una classificazione disgiunta tra beni materiali e persone.

L'indice di densità di abitazioni, può essere un parametro indicativo per tener conto dell'incolumità della popolazione in un centro abitato o per le infrastrutture viarie.

Come esposto in precedenza anche in questo caso è possibile creare un scala di valori adimensionali, come mostrato ad esempio in Tabella 2-7 in cui i valori sono messi in relazione con l'indice di densità di abitazioni.

<b>VALORE</b>	<b>INDICE DENSITA' ABITAZIONI</b>
1	<1 abitazioni/ha
2	1-10 abitazioni/ha
3	10-25 abitazioni/ha
4	>25 abitazioni/ha

Tabella 2-7: Scala di pregio del bene a rischio.

Riguardo al caso di studio del bacino del Torrente Bonea, i valori unitari ( $\text{€}/\text{m}^2$ ) degli immobili presenti nell'area a rischio, relativi alla sola struttura sono desumibili dall'Osservatorio del Mercato Immobiliare dell'Agenzia del Territorio - Ministero dell'Economia e delle Finanze [17].

L'OMI fornisce dati estimativi mediante la gestione di una banca dati delle quotazioni immobiliari, che fornisce una rilevazione indipendente, sull'intero territorio nazionale, delle quotazioni dei valori immobiliari e delle locazioni, valorizzando a fini statistici e di conoscenza del mercato immobiliare le banche dati disponibili nell'amministrazione.

Le Tipologie immobiliari presenti nella banca dati delle quotazioni sono elencate in Tabella 2-8.

<b>Destinazione residenziale</b>	<b>Unità immobiliari autonome o accessorie</b>	<b>Destinazione terziaria</b>	<b>Destinazione produttiva</b>	<b>Destinazione commerciale</b>
ville / villini			posto auto coperto	uffici
abitazione signorile	posto auto scoperto	uffici strutturati	capannoni industriali	centri commerciali
abitazione civile	box			laboratori
abitazione economica	autorimesse			magazzini
abitazioni tipiche dei luoghi				

Tabella 2-8: Tipologie immobiliari.

E' definita per ogni zona omogenea una tipologia prevalente che individua la specie immobiliare più diffusa tra quelle presenti nel mercato locale. Viene anche rilevato lo stato conservativo prevalente (tra ottimo, normale e scadente) nel quale può trovarsi più frequentemente un'unità immobiliare residenziale all'interno di una zona. Le zone sono state raggruppate in fasce, le quali individuano aree territoriali con precisa collocazione geografica

nel Comune e rispecchiano, in generale, una collocazione urbanistica consolidata (Centrale, Semicentrale, Periferica, Suburbana, Rurale).

Le interrogazioni del data base sono state svolte in base ai seguenti dati:

- Anno: 2005
- Semestre: 1
- Provincia: SALERNO
- Comune: VIETRI SUL MARE

In questa area sono presenti sei Fasce / Zone:

1. Centrale / CORSO UMBERTO I-TRATTO DELLA S.S.18-VIA MARINA-PIAZZA DELLA CHIESA-MARINA
2. Periferica / PERIFERIA
3. Rurale / ALTA COLLINA
4. Rurale / BASSA e MEDIA COLLINA
5. Semicentrale / MOLINA - TRATTO NORD DELLA S.S.18
6. Semicentrale / STRADA PER RAITO (ZONA A VALLE)-TRATTO INTERNO DELLA S.S.163

Le destinazioni d'uso sono schematizzate secondo le seguenti quattro categorie:

- A. Residenziale
- B. Commerciale
- C. Terziaria
- D. Produttivo

Il Valore di Mercato è espresso in Euro/mq riferito alla superficie Netta (N) ovvero Lorda (L)

Il Valore di Locazione è espresso in Euro/mq per mese riferito alla superficie Netta (N) ovvero Lorda (L)

I risultati dell'interrogazione sono di seguito riportati:

1) Fascia/zona: Centrale / CORSO UMBERTO I-TRATTO DELLA S.S.18-VIA MARINA-PIAZZA DELLA CHIESA-MARINA

- Microzona catastale n.: 1

- Tipologia prevalente: ABITAZIONI CIVILI

A) Destinazione: Residenziale

Tipologia		Valore Mercato (€/mq)	Superficie (L/N)	Valori Locazione (€/mq x mese)	Superficie (L/N)
ABITAZIONI CIVILI / Ottimo	Min	2310	L	7,7	L
	Max	3460		11,4	
ABITAZIONI DI TIPO ECONOMICO / Ottimo	Min	2230	L	7,4	L
	Max	3340		11,1	
AUTORIMESSE / Normale	Min	1040	L	5,1	L
	Max	1390		6,8	
BOX / Normale	Min	1250	L	6,3	L
	Max	1720		8,7	
VILLE E VILLINI / Ottimo	Min	2590	L	8,7	L
	Max	3790		12,5	

B) Destinazione: Commerciale

Tipologia		Valore Mercato (€/mq)	Superficie (L/N)	Valori Locazione (€/mq x mese)	Superficie (L/N)
NEGOZI / Ottimo	Min	2540	L	12,5	L
	Max	3790		19	

C) Destinazione: Terziaria

Tipologia		Valore Mercato (€/mq)	Superficie (L/N)	Valori Locazione (€/mq x mese)	Superficie (L/N)
UFFICI / Ottimo	Min	2540	L	8,6	L

	Max	3730		12,3	
--	-----	------	--	------	--

2) Fascia/zona: Periferica / PERIFERIA

- Microzona catastale n.: 2

- Tipologia prevalente: ABITAZIONI CIVILI

A) Destinazione: Residenziale

Tipologia		Valore Mercato (€/mq)	Superficie (L/N)	Valori Locazione (€/mq x mese)	Superficie (L/N)
ABITAZIONI CIVILI / Ottimo	Min	990	L	3,4	L
	Max	1450		4,8	
ABITAZIONI DI TIPO ECONOMICO / Ottimo	Min	870	L	3,1	L
	Max	1250		4,2	
AUTORIMESSE / Normale	Min	510	L	2,7	L
	Max	730		3,9	
BOX / Normale	Min	630	L	3,3	L
	Max	930		4,6	
VILLE E VILLINI / Ottimo	Min	1280	L	4,3	L
	Max	1910		6,2	

B) Destinazione: Commerciale

Tipologia		Valore Mercato (€/mq)	Superficie (L/N)	Valori Locazione (€/mq x mese)	Superficie (L/N)
NEGOZI / Normale	Min	1340	L	6,5	L
	Max	1960		9,9	

3) Fascia/zona: Semicentrale / MOLINA - TRATTO NORD DELLA S.S.18 -

- Microzona catastale n.: 2

- Tipologia prevalente: ABITAZIONI CIVILI

## A) Destinazione: Residenziale

Tipologia		Valore Mercato (€/mq)	Superficie (L/N)	Valori Locazione (€/mq x mese)	Superficie (L/N)
ABITAZIONI CIVILI / Ottimo	Min	1500	L	4,9	L
	Max	2080		6,7	
ABITAZIONI DI TIPO ECONOMICO / Ottimo	Min	1250	L	4,2	L
	Max	1850		6	
AUTORIMESSE / Normale	Min	730	L	3,9	L
	Max	990		4,9	
BOX / Normale	Min	930	L	4,6	L
	Max	1200		6	
VILLE E VILLINI / Ottimo	Min	1850	L	6	L
	Max	2590		8,7	

## B) Destinazione: Terziaria

Tipologia		Valore Mercato (€/mq)	Superficie (L/N)	Valori Locazione (€/mq x mese)	Superficie (L/N)
UFFICI / Ottimo	Min	1720	L	5,7	L
	Max	2590		8,7	

4) Fascia/zona: Semicentrale / STRADA PER RAITO (ZONA A VALLE)-TRATTO INTERNO DELLA S.S.163

- Microzona catastale n.: 1
- Tipologia prevalente: ABITAZIONI CIVILI

## A) Destinazione: Residenziale

Tipologia		Valore Mercato (€/mq)	Superficie (L/N)	Valori Locazione (€/mq x mese)	Superficie (L/N)
ABITAZIONI CIVILI / Ottimo	Min	1620	L	5,4	L
	Max	2430		8,1	
ABITAZIONI DI TIPO ECONOMICO / Ottimo	Min	1500	L	4,9	L
	Max	2180		7,1	
AUTORIMESSE / Normale	Min	820	L	4,1	L
	Max	1040		5,1	
BOX / Normale	Min	990	L	4,9	L
	Max	1250		6,3	
VILLE E VILLINI / Ottimo	Min	1960	L	6,4	L
	Max	2760		9,3	

## B) Destinazione: Commerciale

Tipologia		Valore Mercato (€/mq)	Superficie (L/N)	Valori Locazione (€/mq x mese)	Superficie (L/N)
NEGOZI / Ottimo	Min	1960	L	9,9	L
	Max	2760		13,9	

## C) Destinazione: Terziaria

Tipologia		Valore Mercato (€/mq)	Superficie (L/N)	Valori Locazione (€/mq x mese)	Superficie (L/N)
UFFICI / Ottimo	Min	1850	L	6,1	L
	Max	2700		9,1	



### **2.3 SISTEMA INFORMATIVO GEOGRAFICO**

L'acquisizione, la registrazione, l'analisi, la visualizzazione e la restituzione di informazioni derivanti da dati geografici (geo-referenziati) e dei dati acquisiti sono stati organizzati in un Sistema Informativo Geografico.

Secondo la definizione di Burrough [4] (1996) il GIS è una potente serie di strumenti per acquisire, memorizzare, estrarre, trasformare e visualizzare dati spaziali dal mondo reale. Il sistema informatico è in grado di produrre, gestire e analizzare dati spaziali associando a ciascun elemento rappresentato un database informativo (anche noto come dato non spaziale), può essere visto come una forma di DBMS (Database Management System, Sistema di Gestione di basi di dati), in grado di gestire dati geografici.

Per la rappresentazione dei dati in un sistema informatico occorre formalizzare un modello rappresentativo flessibile che si adatti ai fenomeni reali. Abbiamo tre tipologie di informazioni:

- Informazioni Geometriche: relative alla rappresentazione cartografica degli oggetti rappresentati; quali la forma (punto, linea poligono), la dimensione e la posizione geografica;
- Topologiche: riferite alle relazioni reciproche tra gli oggetti (connessione, adiacenza, inclusione ecc...);
- Informative: riguardanti i dati (numerici, testuali ecc...) associati ad ogni oggetto.

La gestione di queste informazioni avviene in un database relazionale.

L'aspetto geometrico memorizza la posizione del dato impiegando un sistema di proiezione reale che definisce la posizione geografica dell'oggetto.

A differenza della cartografia su carta la scala è un parametro di qualità del dato e non di visualizzazione. Il valore della scala, esprime le cifre significative che devo considerare valide delle coordinate di georeferimento.

Il GIS consente di mettere in relazione tra di loro dati diversi, sulla base del loro comune riferimento geografico in modo da creare nuove informazioni a partire dai dati esistenti.

Le funzionalità di analisi spaziale ovvero di trasformazione ed elaborazione degli elementi geografici degli attributi sono le seguenti:

- L'overlay topologico: in cui si effettua una sovrapposizione tra gli elementi dei due temi per creare un nuovo tematismo (ad esempio per sovrapporre il tema dei confini di un

- parco con i confini dei comuni per determinare le superfici di competenza di ogni amministrazione o la percentuale di area comunale protetta);
- Le query spaziali, ovvero delle interrogazioni di basi di dati a partire da criteri spaziali (vicinanza, inclusione, sovrapposizione etc.)
  - Il buffering: da un tema puntuale, lineare o poligonale definire un poligono di rispetto ad una distanza fissa o variabile in funzione degli attributi dell'elemento
  - La segmentazione: algoritmi di solito applicati su temi lineari per determinare un punto ad una determinata lunghezza dall'inizio del tema;
  - La Network Analysis: algoritmi che da una rete di elementi lineari (es. rete stradale) determinano i percorsi minimi tra due punti.

In realtà ci si può riferire anche al termine SIT (Sistema Informativo Territoriale) infatti, essendo riferito al territorio, è riduttivo parlare solo di GIS. Mogorovich [16] (1988) ha definito il SIT: *"Il complesso di uomini, strumenti e procedure (spesso informali) che permettono l'acquisizione e la distribuzione dei dati nell'ambito dell'organizzazione e che li rendono disponibili nel momento in cui sono richiesti a chi ne ha la necessità per svolgere una qualsivoglia attività"*.

Riguardo al caso di studio di dell'area del bacino del torrente Bonea, è stato realizzato un Sistema Informativo che oltre alla cartografia di base, vettoriale e raster, già precedentemente descritta, contiene un database (Figura 2-9) in cui sono contenute ed organizzate tutte le informazione relative all'area a rischio.

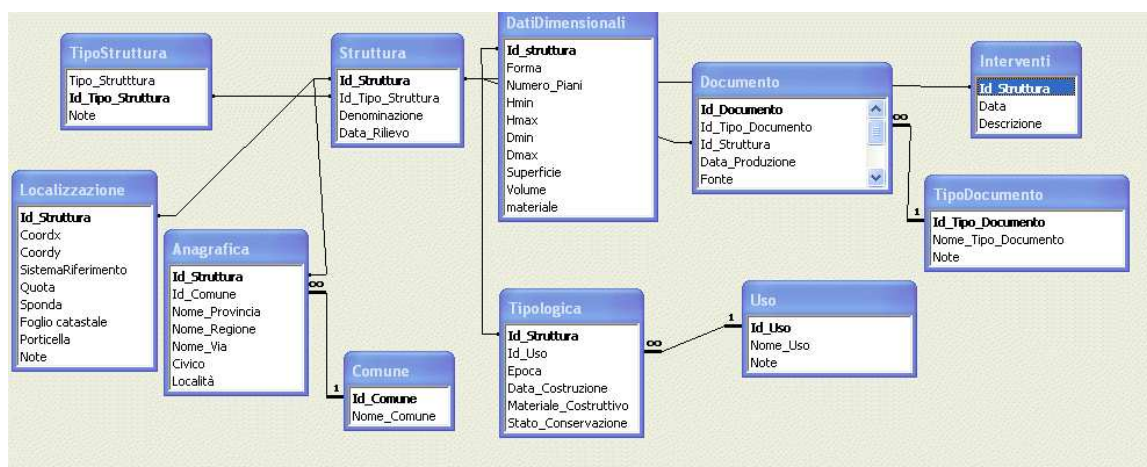


Figura 2-9: Tabella e relazioni del Database informativo.

Particolare attenzione è stata dedicata all' organizzazione del dato storico infatti, una ricerca storica efficace non può trascurare la fase di organizzazione e diffusione dell'informazione in Banche Dati da realizzare mediante strumenti informatici.

In linea generale una metodologia di catalogazione delle informazioni bibliografico-archivistiche utile in campo storico-ambientale, non può trascurare la descrizione dei seguenti elementi:

- documento
- aree geografiche descritte dai singoli documenti
- tipologia degli eventi
- singoli eventi descritti
- singole località colpite

### *2.3.1 Scheda per il censimento dei beni architettonici*

Le informazioni formattate ed organizzate nel database, con la struttura definita, possono essere selezionate, organizzate e presentate in un formato di sola lettura quale un documento stampato.

I contenuti dei report (o schede), che sono raccolti in Appendice B, sono stati selezionati nell'ottica della tutela del "bene culturale" inteso come struttura architettonica caratteristica del sito, che è stata predisposta una scheda tipo atta a raccogliere gli elementi utili ai fini di una corretta valutazione della vulnerabilità connessa agli eventi estremi. Infatti nella scheda vengono riportati i dati più significativi per la ricostruzione della "storia" di ciascun edificio/monumento, costituendo un database con obiettivi multifunzionali, tra cui quello principale della riduzione del danno derivante da rischi idrogeologici.

Ogni scheda è caratterizzata da 4 differenti sezioni:

- 1 - Dati Identificativi;
- 2 - Dati Storici;
- 3 - Descrizione fisico-topografica;
- 4 - Interventi di manutenzione, ristrutturazione.

Nella prima sezione viene identificato l'edificio come "Codice bene" contraddistinto da una lettera dell'alfabeto e/o un numero progressivo, vengono fornite le indicazioni che lo caratterizzano anagraficamente:

- denominazione (la denominazione abitualmente utilizzata dai locali per il riconoscimento dell'edificio);
- proprietario (bene appartenente alla comunità, al clero, o a privati);
- Provincia, Comune, Località/Frazione e Indirizzo;

Localizzazione- Geografico-Amministrativa, identificata da:

Sistema di riferimento (in ambiente Gis);

- Easting, Northing,
- Quota s.l.m (scala 1:5000);
- Dati Catastali (secondo le mappe catastali dell'UTE);
- Morfologia del terreno di fondazione (fondovalle, costa, ecc);
- Bacino Idrografico;
- localizzazione presso: Sponda Sinistra o Destra.

La seconda sezione riguardante i Dati Storici, comprende documentazione in forma grafica, fotografica e scritta, e le trasformazioni che hanno interessato l'edificio nel corso del tempo:

- Data costruzione (la data precisa quando disponibile o il secolo di riferimento);
- Uso storico (destinazione d'uso nel corso degli anni);
- Proprietari/Gestori (per il periodo di uso dell'immobile);

tabella riassuntiva del Materiale documentale (disegni, foto, stampe, progetti etc), indicazione della Fonte di provenienza (es. archivistica, bibliografica ecc.),

- Anno,
- Luogo e
- Qualità del documento;

tabella riassuntiva di Eventi Calamitosi (alluvioni, piogge intense, fenomeni di dissesto idrogeologico), che hanno interessato direttamente l'edificio o la località dove esso è ubicato. Nella tabella a corredo sono riportati la Data dell'evento, la Descrizione degli effetti sull'edificio e/o nella località interessata, la Fonte da cui sono tratte le notizie. Nello spazio dedicato alle Notizie Storiche, infine, vengono riportate notizie specifiche a carattere tecnico-ambientale, economico-amministrativo e politico relative al compendio. Nella terza e quarta sezione vengono riportate le notizie più strettamente tecniche sull'edificio: Descrizione Fisico-

Tipologica, comprendente la Tipologia, Destinazione d'uso, Materiale costruttivo, Stato di conservazione e Dati dimensionali; Interventi di manutenzione e ristrutturazione, comprendene l'Anno, la Descrizione, e la Documentazione relativa a ciascun intervento operato; Links di collegamento.

## 2.4 BIBLIOGRAFIA

[1] Aufrère 1936 *Le role du climat dans l'activité morphologique litorale Proceedings 14th international geographical congress. Warsaw*

[2] Autorità di Bacino dl Fiume Tevere (2001), *Progetto di Piano stralcio per l'assetto Idrogeologico – P.A.I. Norme di attuazione.*

[3] Autorità di Bacino dl Fiume Tevere (1998), *Studi territoriali relativi alle aree a rischio idrogeologico - Uso del suolo*

[4] Burrough P.A. 1986 - *Principles of geographical information systems for land resource assessment, Clarendon Press, Oxford, U.K, 194pp.*

[5] Cotton 1952 *Criteria for the classification of coasts. Proceedings 17th international geographical congress Washington DC*

[6] De Lotto P., G. Testa (2002), *Dam break risk management and socio economic impact: a simplified method of flood damage estimation. Proceedings of CADAM (Concerted Action on Dam Break Modelling) Meeting Milano 6-7 may 1999.*

[7] De Martonne 1909 *Traité de géographie Physique Paris*

[8] Esposito E., Porfido S., Violante C., (2003a) *Reconstruction and recurrence of flood-induced geological effects: the Vietri sul Mare case history (Amalfi coast, Southern Italy). In: Fast Slope Movements Prediction and Prevention for Risk Mitigation (ed. by L. Picarelli). AGI 1, 169–172.*

[9] Esposito, E., Porfido, S., Violante, C., Alaia, F., (2003b) *Disaster induced by historical floods in a selected coastal area (Southern Italy). In: PHEFRA (Palaeofloods, Historical Data & Climatic Variability: Application in Flood Risk Assessment (ed. by V. R. Thorndycraft, G. Benito, M. Barriendos & M. C. Llasat), (Proc. Barcelona, Spain, Workshop (2002), 143–148*

[10] Fumanti F., Rischia I., Serva L., Tranfaglia G., Trigila A., Violante C., (2001) *Effetti sul territorio dell'evento meteorico del 7-8 ottobre 1899 nel salernitano. Accademia Nazionale die Lincei, atti dei Convegni dei Lincei, 181, 395-410.*

[11] Gulliver 1899. *Shoreline Topograpy, proceedings American Academy of Arts and Science 34: 867 – 878*

[12] Haslett Simon *Coastal System..pp.110-135.*

[13] R. L. Holmes, G. Dimonte, B. Fryxell, M. L. Gittings, J. W. Grove, M. Schneider, D. H. Sharp, A. L. Velikovich, R. P. Weaver and Q. Zhang, "Richtmyer-Meshkov Instability Growth: Experiment, Simulation and Theory", *J. Fluid Mech.* 389, 55-79 (1999).

[14] *Inman e Nordstrom (1971) On the tectonic and morphologic classification of coast Journal of geology 79 1,*

[15] *Malinverno A. & Ryan W.B.F., (1986) Extension in the Tyrrhenian Sea and shortening in the Appennines as a result of arc migration driven by sinking of the lithosphere. Tectonics, 5, 227-245.*

[16] *Mogorovich P., Mussio P. 1988 - Automazione del Sistema Informativo territoriale. Elaborazione Automatica dei Dati Geografici, Masson, 1988. p.503-8 vol.2*

[17] *Osservatorio del Mercato Immobiliare dell'Agenzia del Territorio - Ministero dell'Economia e delle Finanze, 2005.*

[18] *Ottmann nel 1965 Introduction a la Géologie marine et Litorale . Masson Paris.*

[19] *Patacca E., Sartori R., Scandone P., (1990) Tyrrhenian basin and Appennic arc: cinematic relations since late Tortonians time. Mem. Soc. Geol. It., 45, 425-451..*

[20] *Reading and Collinson 1996 Clastic coast. In HG Reading SEDIMENTARY Environments Processes, Facies and Stratigraphy Blackwell Science Oxford 154 231.*

[21] *E. Suess 1888. The Face of Earth. Clarendon Press, Oxford*

[22] *USACE (1998) HEC-FDA Flood damage Reduction Analysis. User Manual CPD-72, Version 1. Davis, California*

indice

3.....	Fase di Analisi	64
3.1	Il quadro dei danni indotti dall'alluvione nella bassa valle del Torrente Bonea .....	64
3.1.1	Lo scenario dei danni a Molina e Marina di Vietri	73
3.2	Le alluvioni storiche .....	77
3.2.1	Ricerca delle	fonti
		77
3.2.2	Eventi alluvionali nella provincia salernitana a partire dal 1700	78
3.3	INDAGINI GEOLOGICHE .....	81
3.3.1	Geologia della fascia costiera salernitana	83
3.3.2	Principali caratteri orografici del bacino del Torrente Bonea	84
3.3.3	Fenomeni geologici indotti	85
3.4	Rischio idraulico.....	86
3.4.1	.....	Vulnerabilità
		87
3.4.2	Definizione del grado di vulnerabilità	95
3.5	Analisi fluidodinamica.....	96
3.6	Bibliografia .....	98



## Fase di Analisi

### Il quadro dei danni indotti dall'alluvione nella bassa valle del Torrente Bonea

La perturbazione arrivò nel pomeriggio del 25 ottobre, lunedì, alle ore 13: una pioggerella sottile che durò fino alle 18. Quindi si incrementò gradatamente fino alle 19 circa; da qui in poi la pioggia divenne diretta e continua. Verso le 20 una tregua di circa trenta minuti. In questo frangente il parroco di Molina, Alceste Miranda, rilevò sommariamente i primi danni subiti nella stessa frazione: la rete fognaria intasata dai detriti e dal fango, le strade impraticabili per allagamento, per il fango e per la formazione di profonde buche, quasi tutti i piani terranei delle abitazioni risultavano allagati. La chiesa

parrocchiale, situata alla confluenza dei Torrenti Bonea e Del Piano, riportava danni più consistenti per la forte invasione dell'acqua che, scardinata la porta d'ingresso, aveva trasportato e deposto all'interno dell'edificio ogni genere di detrito.

Successivamente, nel giro di qualche ora, il nubifragio giungeva al culmine ed il tasso di precipitazione raggiungeva il massimo valore. Solo verso le tre del mattino del 26 ottobre la pioggia si attenuò.

La visione globale dei danni si ebbe nella mattinata successiva: *“la chiesa e l'Arciconfraternita erano mezzo diroccate, il ponticello più non esisteva [...] almeno la terza parte del paese era distrutta, il fango [...] era salito fino al primo piano delle abitazioni. Io stesso [...] uscivo ed entravo comodamente per una finestra. I pianterreni, tutti o quasi tutti, ostruiti. Da ogni parte si scorgevano mucchi di rottami, case incrostate di fango e sudiciume, altre diroccate, alcune completamente scomparse ed altre squarciate [...]. La fabbrica tessile dei Fratelli Landi completamente rasa al suolo [...]. Le due Cartiere: Camera e Civale, le segherie, la ramiera Costa, il lanificio Notari, la filanda Mattioli, lungo il corso del fiume, non esistevano più o erano un ammasso di macerie”*, [18].

Gli ingenti danni alle strutture ed alle infrastrutture presenti nell'area furono aggravati anche dai fenomeni franosi che si svilupparono lungo i fianchi del Monte Traverso *“frane di dimensioni ciclopiche si erano staccate dal monte Traversa e, rotolando vorticosamente giù per la ripidissima china, avevano sradicato alberi, divelto enormi massi che [...] si erano abbattuti rabbiosi nel greto del fiume facendo siepe ai pilastri del millenario ponte ‘del diavolo’ ove la gola si restringe”*, [18], e dal Monte San Liberatore.

Tempestivamente l'Amministrazione Comunale di Vietri organizzò sopralluoghi tecnici per la programmazione degli interventi da effettuare sul territorio e, con delibera del 28 ottobre 1954 emanò i primi provvedimenti, e le spese da sostenere, a favore delle aree più danneggiate: *Strada - strade comunali e vicinali per complessivi 3 km e piccole strade di campagna, con 3 ponti distrutti e danneggiati per complessive L. 580.000.000. Opere idrauliche: sistemazione del torrente Bonea - Cavaiola- Marina d'Albori - Fontana 300.000.000 - 50.000.000 - 70.000.000 - 80.000.000 per complessive L. 500.000.000. Acquedotti: sistemazione acquedotti Vietri-Molina-Marina e frazioni rispettivamente: 130.000.000 e 20.000.000 complessive 150.000.000. Edifici Pubblici: scuole Albori 5.000.000, Chiese = n°1 distrutta (Molina) e 7 danneggiate L. 130.000.000. Ospedali e istituti di beneficenza: Orfanotrofio Marina e asilo. 40.000.000. Case: case crollate n° 309 per L. 620.000.000. Case inabitabili n° 143 per L. 230.000.000. Case lievemente danneggiate n° 264 per L. 140.000.000 per un totale complessivo di L. 1.000.000.000. Attività industriali ed entità economiche (fabbr. distrutte e danneggiate ed uniti negozi di vendita in genere) L. 1.500.000.000. Danni agricoli (ai proprietari e ai frutti pendenti) L. 645.000.000. Danni alle foreste e piccole colline L. 350.000.000. Danni alle famiglie (masserizie per circa 452 famiglie) per L. 600.000.000 per un totale di L. 5.500.000.000, e da aggiungere le spese di pronto soccorso da farsi con urgenza L. 100.000.000 per un totale dei danni L. 5.600.000.000, [1].*

A Vietri e nelle frazioni di Raito, Dragonea e Benincasa, i danni furono abbastanza localizzati e limitati a singoli fabbricati e tratti stradali. Pochissime furono le vittime ed una decina i dispersi. Una frana interessò il versante di Raito che, *“nella corsa pazzza di distruzione e di morte ha portato con sé*

*molti a brandelli, corpi di uomini e di donne, di bambini e vecchi*” ([15]), precipitò a mare. Il cimitero di Vietri, situato nella frazione di Benincasa, in corrispondenza di una pronunciata incisione del versante, fu investito da una frana. Il viale centrale del cimitero, comprendente diverse aree tombali fu “*completamente distrutto, così che i cadaveri e molte ossa umane venute fuori dall’ossario, sono state trasportate fino a Marina di Vietri*” e persino “*i secolari e giganteschi cipressi erano stati abbattuti dalla furia dell’alluvione*” ([15]) (Figura 0-1).



Figura 0-1: Marina di Vietri. Le bare, provenienti dal cimitero di Benincasa, furono trasportate sino a mare, (Foto Parisio, 1954, Coll. EPT, Salerno).

Le infrastrutture presenti in tutta l’area vietrese subirono rilevanti danni anche perché interessate da ampi fenomeni franosi: “*Lungo la valle da Cava a Vietri [...] scoscienti di massa sul fianco destro e sul fianco sinistro della valle hanno interessato la coltre di tufi poco coerenti all’altezza del km 47 della SS. 18. Questi tufi sul fianco sinistro sono scosciati provocando il crollo del muro di sostegno e l’interruzione della linea ferroviaria, sul fianco destro invece, lo scosciamento ha ostruito la strada, la cui sede però non ha subito danni permanenti*” [19], (Figura 0-2, Figura 0-3, Figura 0-4. La rete ferroviaria Salerno-Vietri-Cava fu interrotta per diversi giorni per le numerose frane staccatesi dal Monte San Liberatore: interi tratti di strada ferrata furono asportati e crollarono sulle aree sottostanti. Nella stazione ferroviaria di Vietri sul Mare una frana di notevoli dimensioni provocò danni, senza vittime, alle vetture che transitavano nella tratta Salerno-Cava de’ Tirreni. (Figura 0-4).

La frazione Molina, ubicata nel tratto medio della Valle del Bonea, si sviluppava con continuità edilizia lungo le sponde del torrente. Nella foto panoramica riportata in Figura 0-5 è visibile l’impianto urbano di Molina di Vietri agli inizi del ‘900; sono riconoscibili, da destra verso sinistra, la chiesa di Santa Maria della Neve con entrambi i campanili, la Casa Canonica e, sulla estrema sinistra, rilevato, il Palazzo Di Donato. In particolare, l’edificio ecclesiastico “*aveva il pavimento a meno di un metro sul livello normale del piccolo corso torrentizio che scende dal Monte S. Liberatore e*

*dal villaggio Marini; ed il suo angolo sinistro posteriore, dal lato dello Evangelico, si protendeva contro il suddetto torrentello, costringendolo a deviare verso sinistra con una curva di pochi metri di raggio[...]anche il campanile si trovava [...] quasi sul greto” [16]. L’area centrale della fotografia risultava invece occupata dalle numerose abitazioni che costeggiavano il letto del torrente: “A Molina molte case e taluni opifici sono stati costruiti addirittura nell’alveo ordinario del Bonea che, in alcuni punti era ridotto a poco più di una decina di metri di larghezza, tale cioè da non poter più contenere non tanto le piene eccezionali e catastrofiche come quelle dell’ottobre scorso, ma neppure quelle ordinarie” [13]*

Nella Figura 0-6, è visibile il panorama di Molina alla metà degli anni cinquanta. Tra le nuove costruzioni è visibile la fabbrica di tessuti Landi (in corrispondenza della ciminiera sul lato destro della fotografia). L’alluvione del ’54 produsse danni irreparabili al patrimonio edilizio: la maggior parte delle abitazioni, costruite nei pressi del Bonea, furono spazzate via dalla corrente (Figura 0-7); la chiesa Santa Maria della Neve riportò danni gravissimi lungo il lato esposto alla confluenza dei torrenti Bonea e Del Piano; crollò anche il campanile. La restante parte del complesso ecclesiastico, comprendente l’abitazione del parroco e l’asilo infantile Sava, fu invaso dall’acqua e dal fango fino ad un’altezza di cinque metri (Figura 0-8, Figura 0-9). La fabbrica di tessuti Landi, posta sulla destra orografica del Bonea, fu completamente abbattuta, restando in piedi solo la ciminiera ed una piccola porzione delle mura perimetrali (Figura 0-9). La strada che attraversava l’abitato si rialzò di circa 50 cm, rispetto al piano originario, per il deposito di terriccio ed altro materiale trasportato dall’alluvione.

Notevoli danni subirono anche la Cartiera Camera, inaugurata il giorno precedente l’alluvione (Figura 0-10), e le due abitazioni adiacenti, per l’azione delle acque e del fango che invasero l’intero edificio rendendo inutilizzabili i macchinari. La valanga d’acqua e detrito fece crollare anche buona parte del ponte medievale “dei diavoli” lasciando solo 7, delle 29 arcate che componevano il ponte.

Le strutture industriali comprese tra le frazioni di Molina e Marina di Vietri, edificate specificamente lungo le sponde del torrente per sfruttarne i privilegi, subirono danni considerevoli soprattutto per l’ingressione dell’acqua, del fango e dei detriti. I danni furono comunque tali da compromettere l’attività industriale per periodi molto lunghi e, in alcuni casi, l’attività cessò del tutto.

La Ramiera Costa fu completamente spazzata via dall’alluvione e non rimase alcuna traccia dell’edificio sul terreno originario. Il lanificio Notari, composto da diverse strutture edilizie che si sviluppavano fin dentro l’alveo, riportò diversi danni, tra cui il crollo della porzione più esposta al torrente (Figura 0-11). Ulteriori danni si verificarono anche a seguito di una frana sviluppata lungo il costone retrostante (Figura 0-12). L’interno dell’edificio fu invaso dal fango e dai detriti per un’altezza superiore ai due metri, compromettendo la funzionalità delle macchine tessili (Figura 0-13).

Nella fabbrica tessile Mattioli (attuale fabbrica d’Ambrosio), crollò completamente il ponte sul Bonea che collegava le due strutture principali della fabbrica. Non meno gravi furono i danni alle piccole e medie industrie del commercio e dell’artigianato, che subirono, localmente, un vero e proprio tracollo.

Nella frazione di Marina, posta alla foce del Torrente Bonea (Figura 0-14Figura 0-15 è visibile l’impianto urbano tra la fine dell’800, all’inizio del ’900), l’onda di piena colpì prevalentemente gli edifici (quindici in tutto) costruiti in destra orografica, provocando crolli parziali e totali (Figura 0-16).

A partire dal Palazzo Pellegrino, del quale crollò l’intera ala orientale (Figura 0-16), gli edifici, “Savastano” e “Cioffi ed altri”, compresi tra Via Strettola ed il Torrente Bonea, vennero completamente spazzati via, provocando la morte di numerose persone (Figura 0-16Figura 0-17). Il settore occidentale del Palazzo Della Monica (destra orografica) fu tagliato in due parti

in senso longitudinale, ovvero il lato più prossimo al corso del Torrente Bonea fu abbattuto completamente provocando la morte di diverse persone (Figura 0-16).

Le abitazioni poste in sinistra orografica, non riportarono danni significativi, se non l'ingresso di fango, acqua e materiale detritico. I locali terranei furono invasi completamente dalla melma che interessò persino i piani superiori. Le mura di recinzione e le aree coltivate a giardino, prospicienti il corso del torrente, furono completamente travolte dalle acque. Nel settore orientale dell'edificio Della Monica (sinistra orografica), invaso dalle acque e dal fango, trovò la morte un'intera famiglia vietrese (Figura 0-16). I cantieri navali, operanti sulla spiaggia di Marina, furono completamente distrutti (Figura 0-18). Tra gli effetti devastanti dell'alluvione ci fu la completa distruzione del ponte posto in corrispondenza dello foce del Bonea.

Il ponte, in realtà un piazzale, copriva il torrente nel suo tratto terminale e fungeva da area pubblica per le manifestazioni sociali e religiose, (Figura 0-19, Figura 0-20). I disastrosi danni avvenuti nelle frazioni di Molina e Marina di Vietri furono il risultato di diversi fattori, tra cui quello antropico, che svolse un ruolo determinante nell'amplificazione degli effetti locali. Infatti, l'intensa urbanizzazione delle sponde e del letto del Torrente Bonea incrementò notevolmente l'entità dei danni, costituendo nel contempo un ostacolo al normale corso delle acque. Ciò determinò fenomeni di sbarramento effimero e relative onde di piena.



Figura 0-2 Tratto ferroviario Vietri sul Mare-Cava de' Tirreni. Fenomeno fr anosche interessò un'ampia area a confine tra i due comuni, coinvolgendo sia la strada statale 18 sia la rete ferroviaria, (Foto Parisio, 1954, Coll. EPT, Salerno)



Figura 0-3- Tratto viario tra Salerno e Cava de' Tirreni (Coll. Servizio Idrografico e Mareografico, Sez. di Napoli, 1954).



Figura 0-4: Stazione di Vietri sul Mare. Depositi di frana provenienti dal versante sud-occidentale del Monte S. Liberatore formano una estesa coltre spesso più di un metro (Coll. Habitat, Raito, 1954).



Figura 0-5: Molina di Vietri in una cartolina del 1907, vista panoramica da mezzogiorno, riproduzione vecchie cartoline (Coll. Habitat, 1980).



Figura 0-6: Molina di Vietri in una cartolina degli anni '50 (pre-alluvione); panorama da settentrione (Coll. P. Filoselli).



Figura 0-7: Molina di Vietri. Danni riportati dalle abitazioni poste in sinistra orografica del Bonea (Coll. Habitat, Raito).



Figura 0-8: - Molina di Vietri. In primo piano sulla sinistra l'Asilo infantile Sava e la ciminiera della fabbrica Landi. L'area centrale era occupata, prima dell'alluvione, da una schiera di abitazioni (Coll. Habitat, Raito)

Chiesa S. Maria della Neve      Casa Canonica      Civili Abitazioni  
Palazzo Di Donato      Asilo SADA      Fabbrica Landi



Figura 0-9: Molina di Vietri. Danni complessivi (Foto Parisio, 1954, Coll. EPT, Salerno).



Figura 0-10: Molina di Vietri. In basso la cartiera Camera situata sulla sponda sinistra del Torrente Bonea, subì notevoli danni al piano terreno, con l'abbattimento delle mura perimetrali ed interne dell'edificio (Foto Parisio, 1954, Coll. EPT, Salerno).

Figura 0-11: Marina di Vietri; danni alla fabbrica tessile Notari. Una porzione



dell'edificio fu distrutta dall'onda di piena, la restante parte fu completamente invasa dal fango e dal detrito (Coll. M. Notari, Salerno 1954).



Figura 0-12: Marina di Vietri; danni ai piani superiori della fabbrica tessile Notari a seguito di una frana di modeste dimensioni staccatasi dal versante retrostante l'edificio (Coll. M. Notari, Salerno 1954).



Figura 0-13: - Marina di Vietri. Depositi alluvionali composti da detriti e materiale vegetale all'interno della fabbrica Notari (Coll. M. Notari, Salerno, 1954).



Figura 0-14: Marina di Vietri. Fotografia panoramica degli anni '20 (Cart. Ed. Cutaneo, Coll. Privata)



Figura 0-15: : Marina di Vietri. Fotografia panoramica degli anni '50, prima dell'alluvione (Cart. Ed. D'Arienzo, Coll. Privata)



Figura 0-16: Marina di Vietri; danni complessivi (Foto Parisio, 1954, Coll. EPT, Salerno).



Figura 0-17: Marina di Vietri. Nella fotografia è visibile il palazzo Savastano (edificio con le due arcate), posto alla foce del Torrente Bonea. L'edificio fu completamente abbattuto dall'alluvione ed i resti furono trasportati a mare (Coll. P. Di Nicola Vietri sul Mare).





Figura 0-18: Marina di Vietri. Sullo sfondo la Casa Savastano- Della Monica e, lateralmente, il Cantiere Navale Gatto prima dell'alluvione (Coll. Savastano-Della Monica, Vietri sul Mare).



Figura 0-19: Marina di Vietri. L'ampio ponte in muratura alla foce del Torrente Bonea in occasione di una processione, prima dell'alluvione (Coll. P. Di Nicola, Vietri sul Mare).



F  
i  
g

Figura 0-20: Marina di Vietri. Nell'area a monte del ponte di legno erano ubicati il ponte in muratura (piazzale) e l'abitazione Savastano, in basso nella foto (Foto Parisio, 1954, Coll. EPT, Salerno).



Figura 0-21: - Marina di Vietri; danni ai macchinari della fabbrica tessile

Notari (Coll. M. Notari, Salerno, 1954).



Figura 0-22: -  
Marina di Vietri;  
danni ai  
macchinari della  
fabbrica tessile  
Notari (Coll. M.  
Notari, Salerno,  
1954).

#### *Lo scenario dei danni a Molina e Marina di Vietri*

Per la ricostruzione puntuale dei danni sono state utilizzate fonti giornalistiche, amministrative, letterarie e scientifiche, integrate con documentazioni fotografiche prodotte prima e immediatamente dopo l'evento del 1954, (in particolare quella dell'Ente Provinciale del Turismo, EPT, di Salerno, dell'archivio fotografico del Gruppo Habitat di Raito, dell'archivio fotografico Parisio di Napoli e degli archivi fotografici delle famiglie, Notari di Salerno, e Santoro di Cava de' Tirreni). Di indispensabile aiuto sono state, inoltre, le descrizioni fornite da testimoni che hanno consentito di integrare gli elementi precedentemente acquisiti.

In particolare, per l'individuazione del singolo edificio ci si è avvalsi anche di ulteriore materiale fotografico, stampe e disegni prodotti prima dell'alluvione e provenienti da collezioni private (Tesauro, Filoselli e Frascetti di Vietri sul Mare). Tale materiale si è rivelato indispensabile per la localizzazione di diversi edifici di Molina e Marina di Vietri, che furono completamente travolti dall'alluvione e di cui non esiste più alcuna traccia sul terreno (Figura 0-5, Figura 0-6, Figura 0-7, Figura 0-8, Figura 0-17, Figura 0-19, Figura 0-20).

Sulla base del materiale fotografico dell'epoca è stato, quindi, possibile individuare con precisione la posizione ed il tipo di danno. A tale proposito, i dati a disposizione hanno consentito di suddividere il danneggiamento in tre diverse categorie:

- Danni Gravissimi, crollo totale o parziale dell'edificio; inagibilità delle infrastrutture per ampi tratti;
- Danni Gravi, crollo parziale o totale di pareti, scale, e/o altri elementi non strutturali, in grado di compromettere l'agibilità dell'edificio;
- Danni Minori, inagibilità momentanea dell'edificio per allagamenti e invasione di fango e dei detriti.

In accordo con le fonti esaminate i danni più gravi (crolli e crolli parziali), si verificarono lungo le aree prospicienti il corso del Torrente Bonea ed alla foce dello stesso (Figura 0-9, Figura 0-16).

Nel tratto compreso tra Molina e Marina di Vietri, dove erano localizzate le principali strutture produttive vietresi (cartiera Camera, cotonificio Mattioli, ramiera Costa, lanificio Notari, ecc.), i danni furono considerevoli anche perché l'ingresso del fango e dei detriti all'interno degli edifici, compromise la funzionalità dei macchinari (Figura 0-21, Figura 0-22). Danni minori, consistenti prevalentemente in allagamenti, invasione di fango e detriti interessarono buona parte degli edifici localizzati immediatamente a ridosso dell'area maggiormente danneggiata. Per lo più si tratta di locali terranei adibiti sia a civile abitazione sia ad attività commerciale che subirono la perdita di arredamenti, materie prime, vetrate, serramenti e il piegamento di infissi, l'abbattimento di pareti interne, la distruzione di macchinari ed attrezzature artigianali.

Il danneggiamento riconosciuto è stato riportato sulle copie dei fogli di mappa catastale del 1905 circa, dell'Agenzia del Territorio di Salerno, con i necessari aggiornamenti del Nuovo Catasto Edilizio Urbano relativamente ai nuovi fabbricati costruiti nel cinquantennio (Figura 0-25, Figura 0-24, Figura 0-23). I dati elaborati sono stati confrontati con l'ipotesi di Piano di Ricostruzione di Marina di Vietri, redatto dall'arch. Alfredo Scalpelli nel novembre 1954 su incarico del cons. EPT n. 31 del 30.3.1956, dove viene riportato il quadro delle distruzioni e le nuove aree di ricostruzione (Figura 0-26).

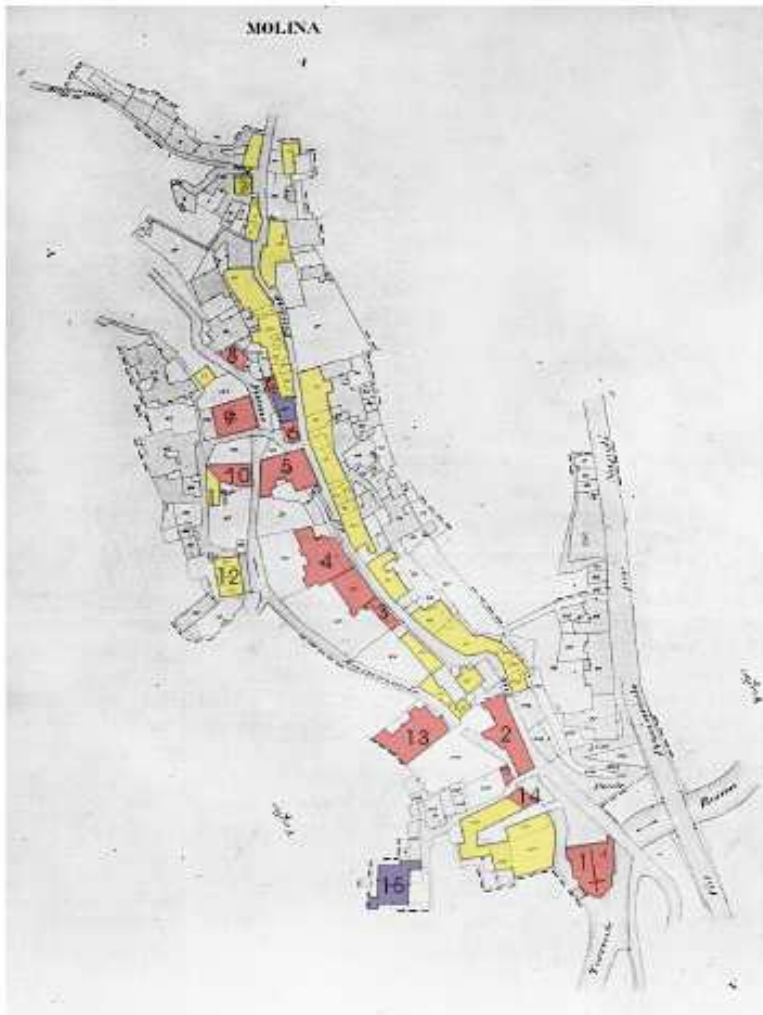


Figura 0-23: Molina di Vietri. Carta della distribuzione dei danni indotti dall'alluvione del 1954.

*Legenda:*

1. Chiesa di S. Maria della Neve; l'edificio, costruito con il piano di calpestio a poco meno di un metro sul livello del Bonea, era ubicato alla confluenza con il Torrente Del Piano. Fu distrutto a metà, in senso longitudinale; rimase intatta la facciata principale, esposta a nord, mentre il lato orientale ed uno dei due campanili furono completamente asportati dall'onda di piena.
2. Civili abitazioni (Fasano, Di Domenico, ed altri); completamente distrutte dall'onda di piena.
3. 12. Civili abitazioni; crolli totali e parziali
13. Fabbrica di tessuti Landi; crollo totale dell'edificio, solo la ciminiera della fabbrica restò in piedi.
14. Asilo infantile A. Sada e Casa Canonica; tali edifici furono invasi dai depositi di piena fino ad un'altezza di cinque metri; il ponte che collegava le sponde fu completamente distrutto.
15. Palazzo Di Donato; tale edificio fu invaso dal fango e dai detriti provenienti anche dal versante del monte Traverso (vittime).
16. Cartiera Camera; danni notevoli soprattutto per l'ingressione del fango e dei detriti e conseguente inutilizzazione dei macchinari. L'edificio posto alle spalle della struttura principale crollò completamente.



Figura 0-24: Molina di Vietri. Carta della distribuzione dei danni indotti dall'alluvione del 1954 nel territorio compreso tra il ponte delle Traverso e la Fabbrica Mattioli.

#### Legenda

17. Ponte delle Traverso o dei diavoli; crollò il lato occidentale e quello vallivo per circa il 70% dell'intero impianto.
18. Fabbrica tessile Cavaliere; subì notevoli danni soprattutto per l'ingressione del fango e dei detriti e conseguente inutilizzazione dei macchinari.
19. Ramiera Costa; la fabbrica fu completamente distrutta dall'alluvione, unitamente al ponte di collegamento con la sponda opposta.
20. Lanificio Notari; edificio industriale composto da diversi corpi di fabbrica. Subì il crollo parziale della porzione edificata in alveo; la struttura principale fu sommersa da 3 metri di depositi alluvionali. Le macchine tessili, sepolte, furono rese completamente inutilizzabili. La caduta di una frana dal costone adiacente danneggiò il tetto della struttura, posta nella parte più meridionale. Crollò il ponte di raccordo con un edificio complementare all'opificio, ubicato sulla sponda opposta.
21. Cappella di San Francesco (nel centro urbano); ingressione di acqua e fango dal tetto con notevoli danni alle suppellettili.

22. Fabbrica tessile Mattioli (attuale fabbrica d'Ambrosio); edificio industriale composto da due corpi di fabbrica ubicati su entrambe le sponde del Torrente Bonea e collegati da una struttura a ponte. Subì danni non strutturali ai due corpi di fabbrica, mentre crollò completamente la struttura a ponte (testimonianza diretta dell'Ing. d'Ambrosio).

C - Cimitero di Vietri, situato nella frazione Benincasa; furono devastate le piazzole di sepoltura e molte bare furono trasportate fino alla spiaggia di Marina di Vietri.

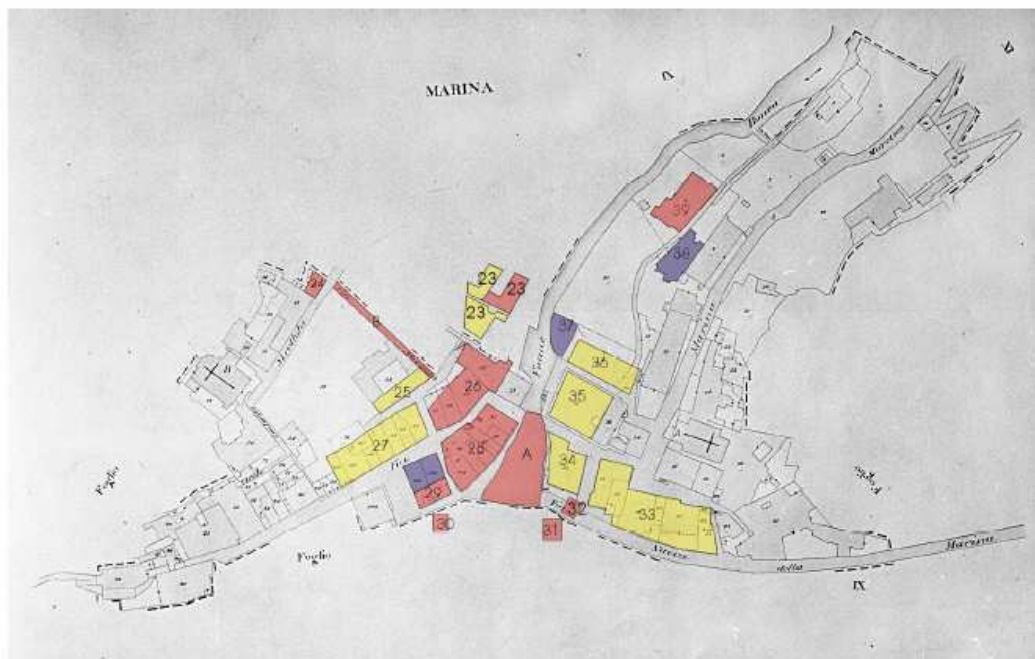


Figura 0-25: Marina di Vietri. Carta della distribuzione dei danni indotti dall'alluvione del 1954.

#### Legenda

23. Palazzo Pellegrino; ubicato lungo la riva destra del Bonea, crollò parzialmente in senso longitudinale.
24. Fabbricato Cioffi; danni gravi, l'edificio fu completamente distrutto dalla frana proveniente dal vallone del cimitero.
25. Palazzo De Cesare; danni minori, il palazzo risultò allagato ai piani inferiori.
26. Civili abitazioni (Cioffi ed altri); il fabbricato fu quasi del tutto distrutto. Nella documentazione fotografica si notano i resti della struttura superstiti all'ingresso di Via Strettola (vittime).
27. Civili abitazioni e negozi; danni minori, allagamenti e perdita di suppellettili.
28. Edificio Savastano; crollo totale del complesso. Nelle foto successive all'evento alluvionale, non compare alcuna traccia dell'edificio (vittime).
29. Palazzo della Monica (lato occidentale), l'edificio fu distrutto in senso trasversale (vittime).
30. Cantiere Navale Della Monica; capannone completamente distrutto.
31. Cantiere Navale Gatto; la struttura in legno fu completamente distrutta.
32. Casa Savastano; l'edificio fortemente lesionato e con strutture crollate parzialmente, viene sorretto da strutture di puntellamento. Abbattuto successivamente per la costruzione della nuova marina.
33. Fabbricati su Via Nuova Marina; danni minori: allagamenti dei terranei, notevoli danni agli interni con la perdita di attrezzature artigianali.
34. Palazzo Della Monica (lato orientale); tale edificio fu interessato solo dall'allagamento dei piani bassi. In particolare, l'ala occidentale dell'edificio, comprendente un corpo aggiunto, fu fortemente interessata dall'inondazione al punto che alcune persone vi morirono impossibilitate a trovare una via di fuga.
35. Civili abitazioni; furono allagati i magazzini e i depositi situati nella zona terranea. Le balconate poste al primo piano, riportarono danni alla muratura. L'area antistante l'edificio, comprendente un tratto di strada e le mura di recinzione, fu completamente distrutta.
36. Segheria (già Vecchio Mulino); risultò completamente allagata e inondata dal fango e dai detriti con notevoli danni agli impianti.
37. Laboratorio Gatto; a servizio dell'omonimo cantiere sulla spiaggia, fu completamente distrutto.
38. Fabbricato Pellegrino; furono allagati i piani inferiori con qualche lieve crollo.

39. *Ceramica ICAV-Giordano; fabbricato in parte occupato dalla ceramica ICAV-Giordano e in parte da civili abitazioni; il fabbricato fu completamente distrutto. Nelle foto scattate subito dopo l'evento alluvionale non vi è più alcuna traccia dell'edificio.*

*A - Infrastrutture; l'onda di piena distrusse la piazza di copertura del Torrente Bonea, la cabina elettrica, i ponti da Marina a Molina.*

*B - Infrastrutture (strada comunale); la parte iniziale di via Strettola (da sud-est a nordovest) fu completamente distrutta.*



Figura 0-26:Piano di Ricostruzione di Marina di Vietri, a cura dell'arch. A. Scapelli, (Coll. EPT, Salerno, 1956).

## Le alluvioni storiche

La provincia di Salerno, ed in particolare la zona costiera che si affaccia sul Golfo di Salerno, è stata interessata in tempi storici da numerosi eventi catastrofici a carattere alluvionale, che hanno prodotto ingenti danni sia all'ambiente fisico sia all'assetto urbanistico delle varie cittadine.

### *Ricerca delle fonti*

Per lo studio delle alluvioni storiche ci è avvalsi di un metodologia ampiamente sperimentata e consolidata nel corso degli ultimi decenni, riconducibile a due fasi principali:

- la raccolta dei dati;
- l'elaborazione dati.

La fase di raccolta dei dati è consistita nella revisione critica della bibliografia e del patrimonio documentario esistente e, contestualmente, nel recupero di nuove informazioni, possibilmente originali e coeve agli eventi meteorici più intensi. In particolare, per lo studio degli eventi meteorici estremi e dei fenomeni piovosi più intensi avvenuti nella provincia di Salerno, sono state consultate le seguenti fonti:

- fonti archivistiche;
- fonti bibliografiche;
- fonti giornalistiche;
- fonti iconografiche;
- fonti legislative;
- fonti orali.

*Eventi alluvionali nella provincia salernitana a partire dal 1700*

La ricerca sistematica delle fonti storiche, a partire dal XVIII secolo, ha consentito il riconoscimento di un centinaio di eventi significativi distribuiti in tutta la provincia salernitana (Tabella 0-1) e Figura 0-27). Di questi, almeno una quarantina hanno investito direttamente il bacino del Bonea, e quindi i comuni di Vietri sul Mare e Cava de' Tirreni. L'elenco complessivo dei fenomeni è, comunque, comprensivo di alcuni eventi meteorici di particolare intensità, che pur non avendo prodotto un vero e proprio fenomeno alluvionale, hanno causato comunque danni molto gravi nelle stesse aree.

SEC. XVIII (Giorno/ Mese/ Anno)	
30/09/1581*	11/1760*
12/11/1735*	25 /05/1762
25/01/1736*	14/01/1764
26/09/1736*	11/1770
11/1738*	11/11/ 1773*
03 /11/1750*	25/12/1796*
23/01/1757	3/11/1780

12/11/1817*	16/03/1867*
12/1822*	12/11/1868
24/01/1823*	04/1875
13/09/1834	12/1875
18/07/1835	02/1879
27/09/1837*	11/1881
01/01/1841	15/09/1882
26/10/1843	02/1885
18/03/1845*	1889
05/01/1853*	11/1893
11/10/1866*	1896
11/11/1866*	7-8/10/1899*

SEC. XIX (Giorno/ Mese/ Anno)
-------------------------------

SEC. XX (Giorno/ Mese/ Anno)		
02/1903	1951	06/1905*
1904*	9/1953	12/1971
09/1905*	25-26 /10/1954*	28/06/1976
11/1908*	10-11/09/1955	09/04/1978*
11/12/1908	22/10/1957	1980
24/10/1910*	03/1960	16/11/1985*
23/01/1911	16/02/1963	03/1986*
21/09/1912*	25/09/1963	16/10/1987
06/11/1916*	8/10/1963*	1988
13/11/1921	26/10/1966*	10/11/1987
26/03/1924*	09/01/1968	25/03/1991
09/1929*	15/03/1969*	03/10/1992*

1935	08/04/1970	10/01/1997*
09/1939	19/10/1970	
01/10/1949*	15/10/1971	

Tabella 0-1: Alluvioni storiche ed eventi piovosi intensi nella provincia di Salerno a partire dal XVI secolo, (\*effetti a Vietri sul Mare)

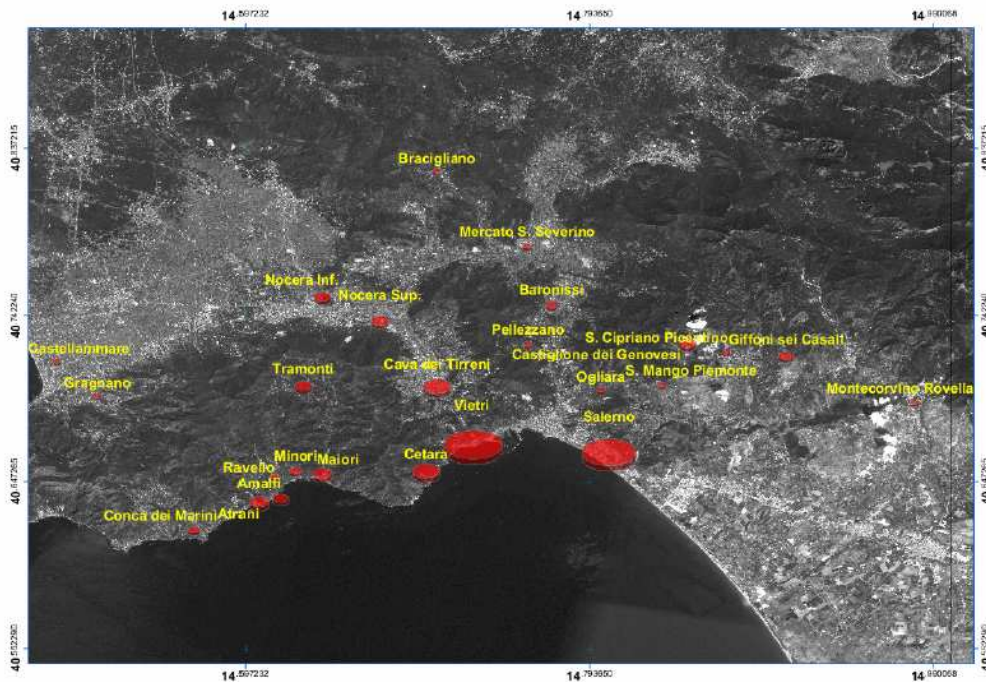


Figura 0-27: Distribuzione areale delle alluvioni nell'arco temporale compreso tra 1735 e il 1997. I simboli, proporzionalmente alle dimensioni, indicano il numero di eventi per ciascuna località. Le località col numero massimo di eventi (43) sono Salerno e Vietri sul Mare.

In base ai dati raccolti, il periodo di maggiore concentrazione degli eventi risulta essere l'autunno-inverno, come riportato nel diagramma in Figura 0-28. Nel mese di novembre si registra, in particolare, il picco massimo con 17 eventi (ovvero il 22,97% degli eventi su 74 totali), a cui fa seguito il mese di ottobre con 13 (17,57%), settembre con 11 (14,86%) e dicembre con 6 (8,11%). I mesi invernali di gennaio e febbraio, seguono con valori decisamente più bassi, rispettivamente 8 (10,81%) e 4 eventi (5,41%). In primavera, invece, si registra un altro periodo con un picco di massimo relativo nel mese di marzo con 7 eventi (9,46%). Praticamente costanti, risultano i mesi di aprile e giugno con 3 eventi (4,05%).



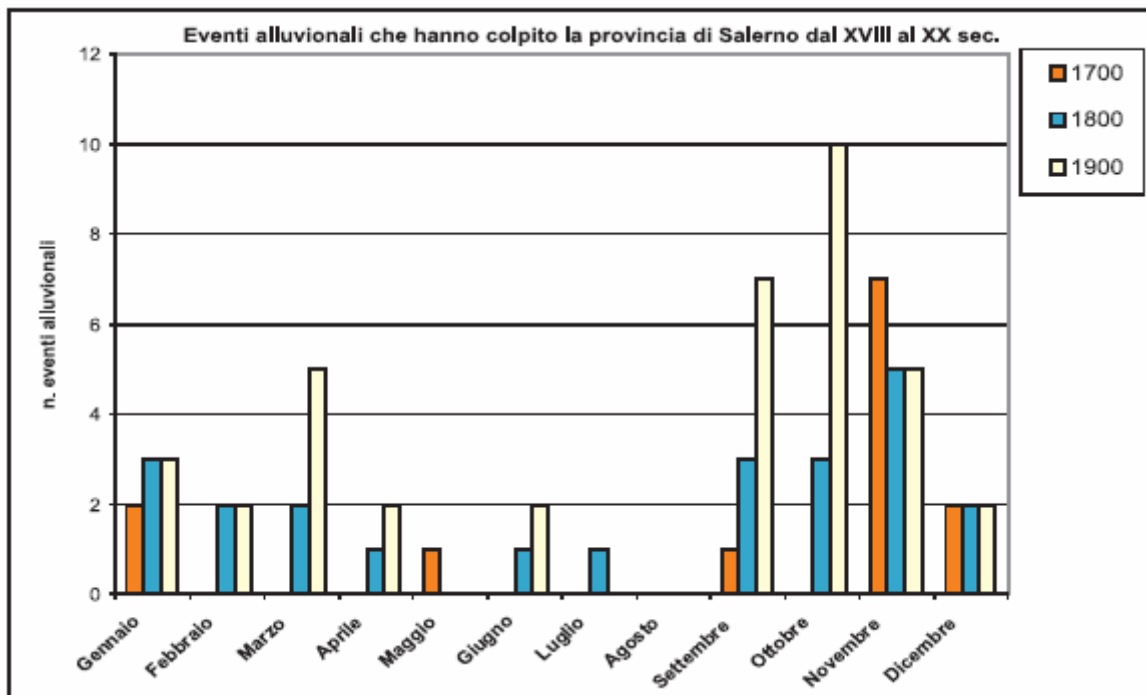


Figura 0-28: Distribuzione degli eventi alluvionali nella provincia di Salerno nell'arco temporale compreso tra il 1735 ed il 1997.

Eventi particolarmente significativi, in termini di estensione e/o livello di danneggiamento furono quelli accaduti nell'11 ottobre 1899, il 24 ottobre 1910, il 26 marzo 1924 e il 25-26 ottobre 1954 (Figura 0-29, Figura 0-30).

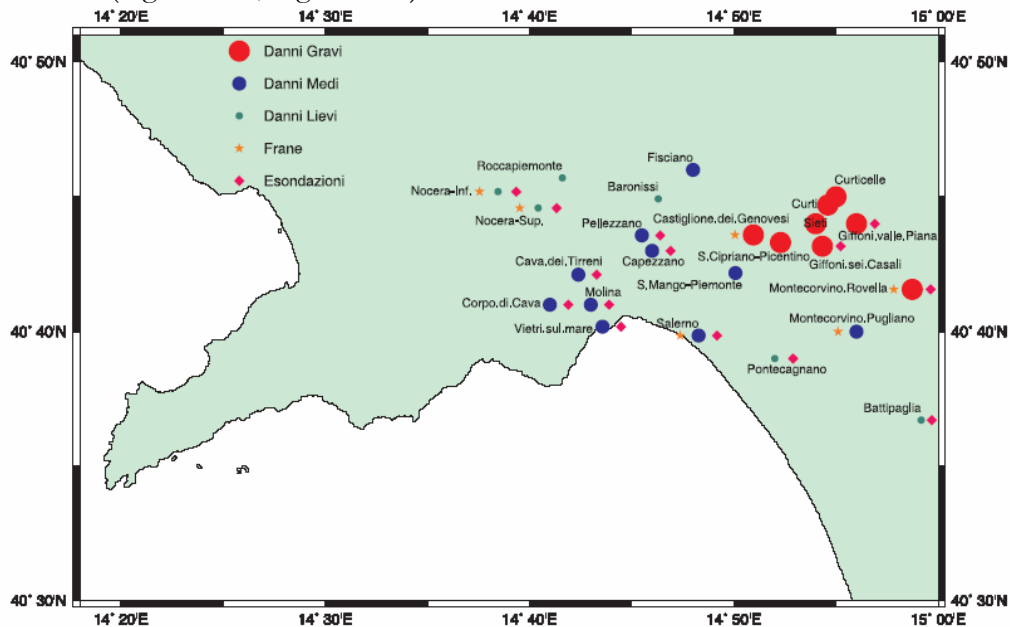


Figura 0-29: Distribuzione del danneggiamento prodotto dall'alluvione del 1899 nella provincia di Salerno

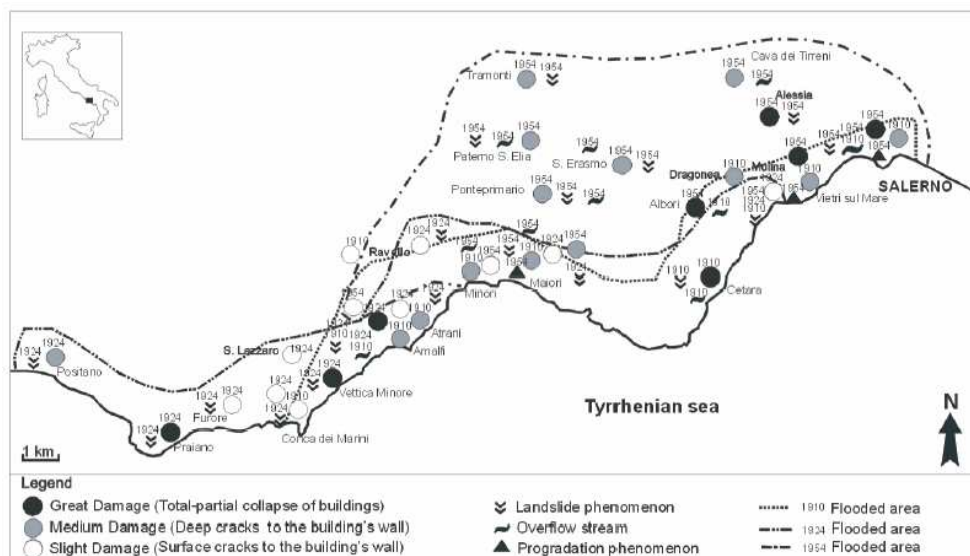


Figura 0-30: Distribuzione areale del danneggiamento prodotto dalle alluvioni del 1910, 1924 e 1954 lungo la Costiera Amalfitana, [10].

## INDAGINI GEOLOGICHE

Il Golfo di Salerno, unitamente alla Piana del Sele, rappresenta uno tra i maggiori bacini neogenici-quadernari dell'area peri-tirrenico, in particolare, il margine tirrenico campano-laziale, è caratterizzata dalla presenza di una serie di bacini, per lo più trasversali alla catena appenninica, che si individuano in corrispondenza di faglie ad andamento NE-SE (Sacchi et al., 1994; Milia et al., 2003) Figura 0-29.

Dal punto di vista strutturale, il Golfo di Salerno è ubicato in corrispondenza di una profonda depressione ribassata a Nord da un sistema di faglie dirette con direzione NO-SE (faglia di Capri),

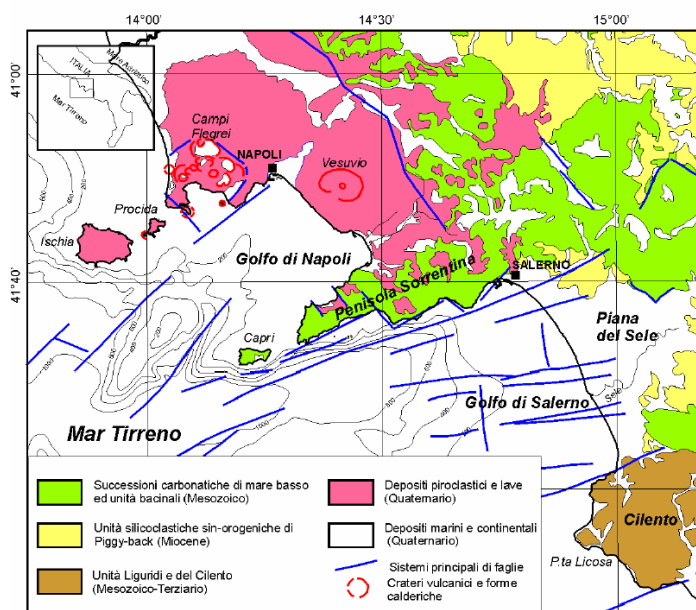


Figura 2.13 - Carta tettonica del margine tirrenico campano.

Figura 0-31: Carta tettonica del margine tirrenico campano [20].

con rigetto complessivo di qualche migliaio di metri, e a SE da un sistema di faglie antitetiche che limitano a nord l'alto strutturale del Cilento. Ne deriva una struttura di tipo semi-graben caratterizzata da un sistema di faglie listriche che bordano a sud i Monti Lattari e la Penisola Sorrentina [20].

Indagini geofisiche (rilievi sismoacustici, batimetrici e *sidescan sonar*) e sedimentologiche di elevata risoluzione effettuate a largo della costa di Vietri, hanno documentato la presenza a fondo mare di depositi da flusso iperpicinale ascrivibili all'evento meteorico del 1954, e di altri tre lobi sabbiosi gradati con base erosiva, nell'immediato sottofondo ([3]; [20] Sacchi M., Conforti A., Milia A., Molisso F., Violante (2004 Il Golfo di Salerno). – In “Il nubifragio dell'ottobre 1954 a Vietri sul mare - Costa di Amalfi, Salerno. Scenario ed effetti di una piena fluviale catastrofica in un'area di costa rocciosa” Pubbl. GNDCI n. 2870, ISBN 88-88885-03-X

[21], [2].

L'elevato grado di maturità tessiturale e l'organizzazione sedimentaria dei lobi sabbiosi individuati, ha permesso di ipotizzare processi di rielaborazione ad opera di eventi meteor-marini estemi avvenuti nell'ultimo millennio [4], [5]. In questo contesto sabbie fluviali derivanti da precedenti eventi di piena, vengono riprese e trasportate a profondità maggiori da correnti di tempesta, determinando così la formazione di livelli tabulari di spessore decrescente da terra verso mare [2].

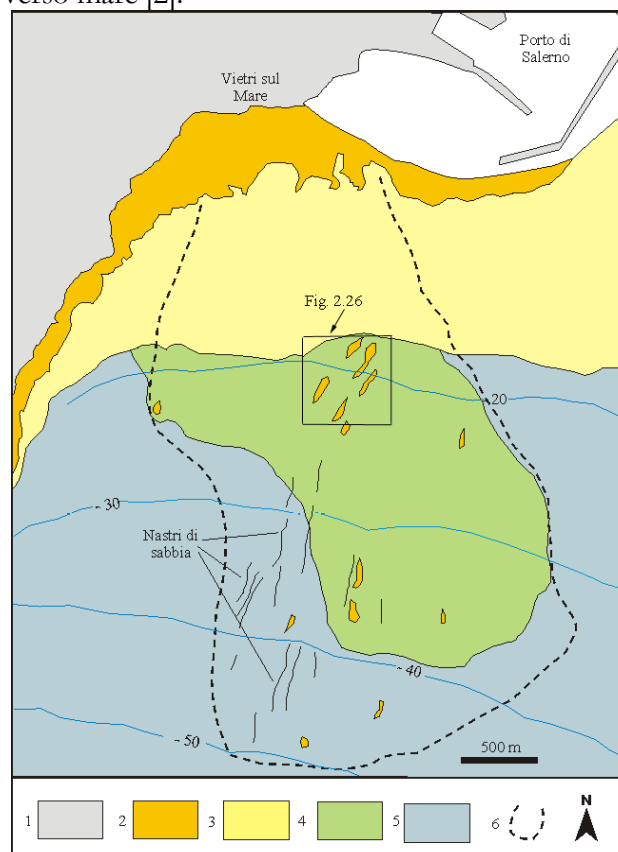


Figura 0-32: Carta sedimentologica dei fondali a largo di Vietri sul Mare. 1 aree emerse; 2 ghiaie e sabbie medio-grossolane; 3 sabbie medio-fini; 4 silt sabbiosi con resti vegetali e manufatti antropici; 5 fanghi; 6 limite del flusso iperpicinale dell'alluvione del 1954 [2].

Le indagini effettuate a terra hanno permesso una dettagliata ricostruzione dei caratteri geologico-strutturali del substrato Mesozoico e delle relative coperture recenti. Tutto ciò è

stato integrato con i dati dell'ultima sequenza deposizionale presente nelle aree marine, eseguito con metodologie geofisiche (rilievi sismoacustici, batimetrici e sidescan sonar) e prelievi di campioni di fondo e del sottofondo [2].

Tale approccio integrato ha consentito di tracciare l'evento alluvionale del 1954 nelle zone di offshore a largo della costa di Vietri, attraverso il riconoscimento di depositi e strutture ricollegabili a flussi iperpicniali la cui origine risiede nell'enorme quantità di materiali alluvionali recapitati alla foce del Torrente Bonea.. ([2]; [4]).

#### 3.4.1 Geologia della fascia costiera salernitana

La zona costiera compresa tra Salerno ed Amalfi, ubicata lungo il margine settentrionale del Golfo di Salerno, è costituita essenzialmente da successioni carbonatiche di età compresa tra il Triassico Superiore ed il Cretaceo, deposte in ambiente di mare poco profondo, con spessori che raggiungono diverse migliaia di metri. I prodotti piroclastici del vulcanismo vesuviano ricoprono, con spessori estremamente variabili, le formazioni dolomitico- calcaree. Gli elementi strutturali che maggiormente condizionano il paesaggio sono costituiti da faglie estensionali a basso e medio-alto angolo, riconducibili alle più recenti fasi deformative estensionali, che hanno interessato il margine tirrenico a partire dal Pliocene. Durante queste fasi di intensa attività tettonica si sono prodotte importanti falde detritiche costituite da conglomerati poligenici alluvionali che hanno registrato ulteriori deformazioni estensionali ad opera di faglie ad alto angolo, Figura 0-33 [7].

E' in tale contesto geologico-strutturale che s'inquadra l'area del bacino del Torrente Bonea.

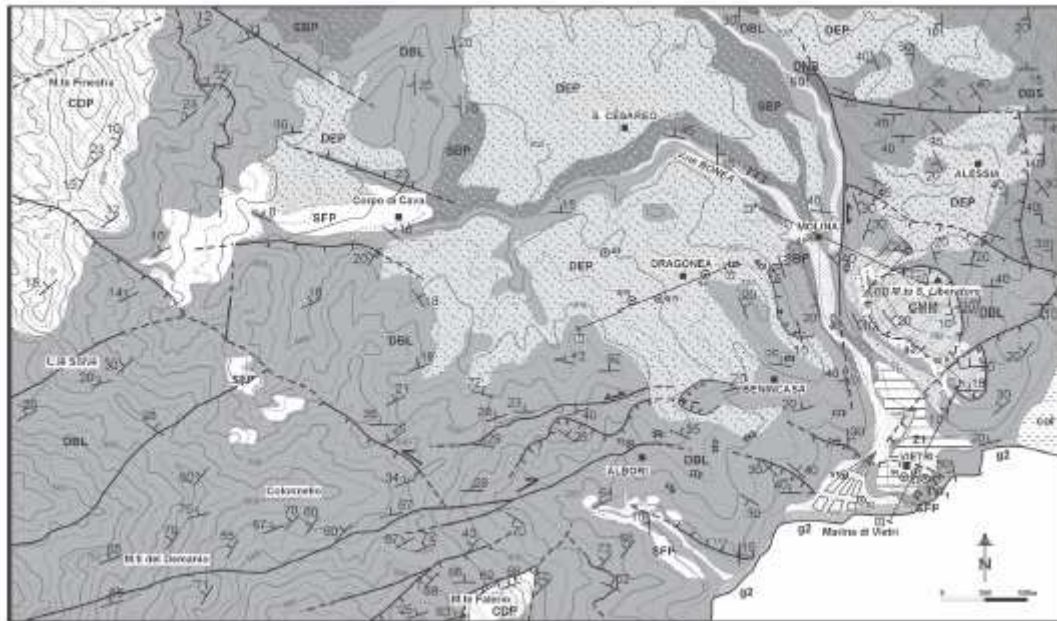




Figura 0-33 Carta geologica dell'area del Bacino del Torrente Borea e di Vietri sul Mare ([7])

### Principali caratteri orografici del bacino del Torrente Borea

Dal punto di vista morfologico, i ripidi versanti carbonatici che caratterizzano il bacino del Borea, sono profondamente dissecati da corsi d'acqua a carattere torrentizio, e risultano ricoperti da depositi piroclastici, con spessori variabili. Il Torrente Borea ha origine ad ovest della località di Corpo di Cava, a quota 280 m sul versante orientale del Monte Finestra. Il torrente prosegue verso Est, sotto l'abitato di San Cesareo, e con un' ampia curvatura verso sud sfocia nel Golfo di Salerno presso la Marina di Vietri.

Di seguito sono riportate in sintesi delle caratteristiche del bacino del Borea.

Lunghezza 8 km;
Area bacino 20 km <sup>2</sup> ;
Percorso incassato 8 km;
Pendenza media 10%; <ul style="list-style-type: none"> <li>- a monte della località Corpo di Cava pendenza superiore 50 %;</li> <li>- a valle della località Corpo di Cava si mantiene intorno al 2%;</li> </ul>
30% dell'area del bacino è costituita da substrato roccioso affiorante formato dai calcari e da dolomie su cui poggiano lembi di antiche falde detritiche e localmente depositi di travertino;
70% del bacino è ricoperto da depositi piroclastici e colluviali, che si rinvengono in posizione primaria, su superfici debolmente inclinate (0° - 15°), o secondaria, come depositi colluvionali, con entità di trasporto anche minime. Gli spessori variano da

alcuni decimetri a diversi metri. Gli spessori superiori ai tre metri sono localizzati in prossimità degli abitati di Dragonea ed Alessia.

### *Fenomeni geologici indotti*

L'assetto geologico, influenza in modo determinante l'organizzazione idrografica del Torrente Bonea, caratterizzato da aree di drenaggio poste a quote relativamente elevate e zone di trasferimento ad alto gradiente. Il carico sedimentario in tali sistemi fluviali, normalmente ridotto, può aumentare notevolmente quando condizioni meteorologiche particolari forniscono in tempi brevi, grandi quantità di acqua, favorendo lo sviluppo di piene catastrofiche ed innescando una serie di fenomeni geologici che vanno dalla formazione di delta effimeri, a fenomeni di franamento diffusi, formazioni di bacini d'acqua temporanei, nonché di sovralluvionamenti.

L'effetto geologico più eclatante, legato all'alluvione del 1954 nell'area di Vietri sul Mare, è sicuramente quello ascrivibile alla formazione di un delta alla foce del Torrente Bonea, che indusse una progradazione di circa 150 m della linea di riva, e al conseguente flusso iperpicinale, che riversò nelle adiacenti aree marine una considerevole quantità di materiali sotto forma di correnti con elevato contenuto solido di fondo ([11], [2]; [4]). I dissesti verificatisi nelle fasi iniziali del nubifragio sono ascrivibili a fenomeni di dilavamento diffuso dei versanti con il distacco delle coperture sedimentarie e del relativo manto vegetale [16], [14],[19], trasportati a valle sia sotto forma di colata di fango e/odetrito, sia sottoforma di scivolamento di masse compatte (*soil slip*). Un ruolo significativo può essere sicuramente attribuito alla presenza di ceneri e pomici dell'ultima eruzione del Vesuvio avvenuta nella primavera del 1944. Tale materiale, già mobilitato in occasioni di piogge minori precedenti l'evento del 1954, fu probabilmente il primo ad alimentare la portata solida del Bonea. Scoscendimenti notevoli interessarono il versante occidentale del Monte S. Liberatore, con diverse tipologie di distacco, riversando grandi quantità di materiali direttamente nell'asta torrentizia principale. Altro apporto solido derivò dal franamento delle coperture sedimentarie e vegetali del versante di Tresare, immediatamente a valle dell'abitato di Molina, posto in destra orografica del Torrente Bonea, anch'esso caratterizzato da forti pendenze e in larga parte denudato fino al substrato carbonatico, Un'altra tipologia di dissesti molto diffusa nelle aree colpite dal nubifragio comprendeva

la formazione di densi flussi detritici incanalati lungo tributari minori. È il caso di due collettori presenti lungo il versante nord-occidentale del Monte S. Liberatore, con testate di alimentazione localizzate nell'area dell'abitato di Alessia, e di un affluente ubicato in sinistra orografica del Bonea, con immissione nell'asta torrentizia principale nei pressi della Marina di Vietri. In particolare, l'alveo di quest'ultimo nella sua porzione sommitale, era ed è tuttora sede del complesso cimiteriale, gravemente danneggiato dal flusso detritico innescato dalle forti piogge, che prese in carico, non solo materiale di riporto, ma anche numerosi feretri trasportandoli a valle per oltre un chilometro fino all'area di foce (vedi fig. 3.1). Cumuli di frana, reincisi e con fenomeni di scalzamento al piede, furono documentati lungo il corso del Torrente Bonea, ancora in corrispondenza del versante meridionale del Monte S. Liberatore. Le tracce dei denudamenti subiti da questo rilievo, e da altri versanti presenti nell'area ricadente nell'area del bacino del Bonea, sono tuttora visibili e cartografabili attraverso l'ausilio delle foto aeree integrate da rilievi diretti in campagna (Figura 0-34) ([11]; [2]).

I movimenti franosi innescati sia dalle acque di pioggia, sia da processi di erosione delle sponde alla base dei versanti che delimitano le aste torrentizie, furono accompagnati, spesso, da notevoli ampliamenti d'alveo, sia alla foce, sia nei tratti posti più a monte. Le ridotte sezioni idrauliche del Torrente Bonea, che corre incassato per tutto il suo tragitto, di fatto, impedirono il deposito di materiale, anche nei tratti a minore pendenza. Tuttavia, fenomeni di

sovralluvionamento si verificarono localmente: nell'area della frazione Molina, dove il piano della strada interna al paese subì un innalzamento di circa 50 cm. ([9] [10]; [2]). Fenomeni di ostruzione temporanea al deflusso delle acque, infine, si verificarono in corrispondenza della fabbrica Cavalieri e dell'ex cartiera Camera, e delle Naiadi.

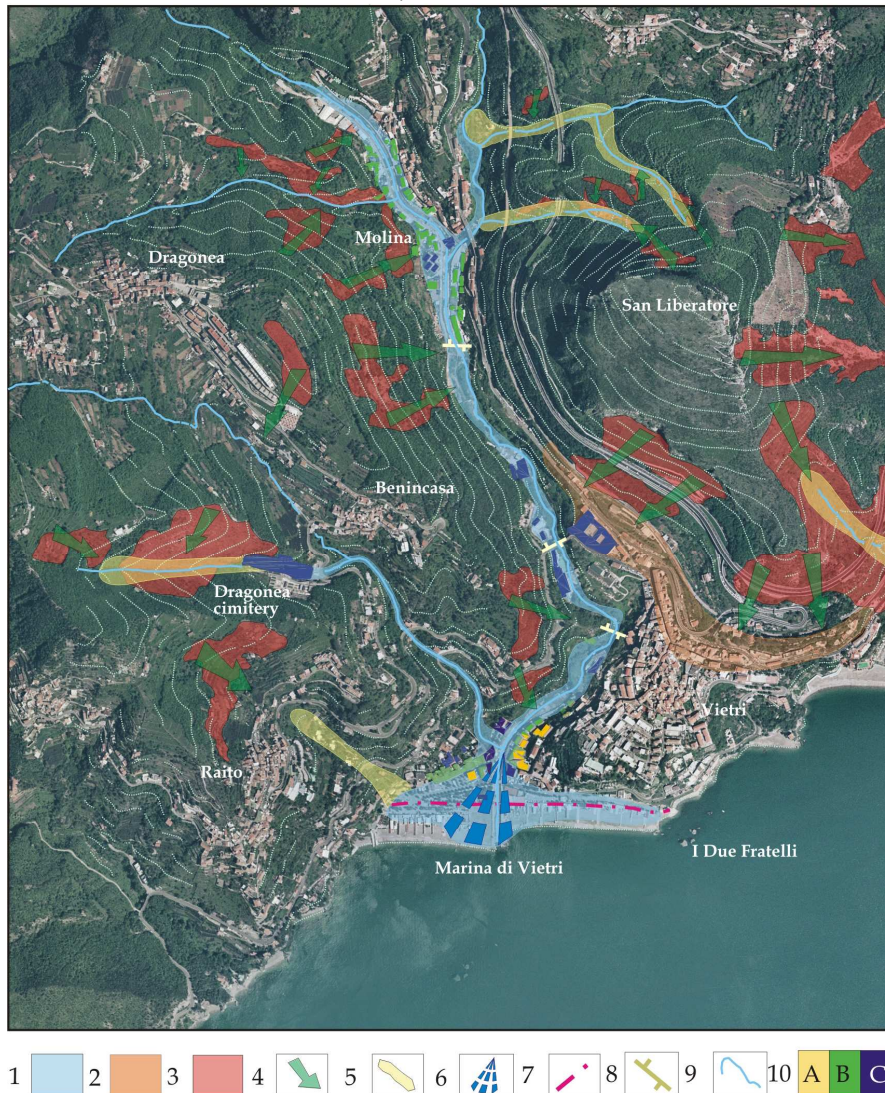


Figura 0-34: Carta degli effetti geologici indotti dall'alluvione del 1954 nel territorio di Viesti sul Mare. 1 area di sovralluvionamento; 2 depositi di fango, sabbie e detriti; 3 soil slip-denudamento; 4 fenomeni franosi; 5 debris flow canalizzati; 6 conoide alluvionale; 7 linea di costa precedente l'alluvione; 8 sbarramenti effimeri; 9 alveo torrentizio; 10 livello di danneggiamento A alto, B medio, C basso.

### Rischio idraulico

Come già osservato, numerose sono le grandezze necessarie per descrivere l'intensità di piena e i danni da questa direttamente provocati sui beni materiali presenti: altezza locale massima raggiunta dall'acqua, velocità locale, erosione, trasporto e deposizione di materiale solido, rapidità di comparsa del fenomeno, sua durata e momento in cui si verifica, particolarità delle situazioni locali e delle circostanze che possono aumentare o diminuire anche

considerevolmente i danni (efficacia di sistemi approntati, possibilità di spostare materiali o mezzi, ecc.).

Allo stato attuale delle conoscenze risulta tuttavia molto difficile stimare in modo attendibile questi dati, come resta difficile stimare il valore economico dei beni e la loro percentuale di danneggiamento e addirittura impossibile prevedere, se non in modo generico, le circostanze ed i periodi di accadimento delle piene.

Viene pertanto assunto che sia possibile utilizzare una sola grandezza (quella maggiormente significativa) per descrivere l'intensità di una piena. Tipicamente una grandezza che può essere utilizzata è la profondità massima localmente raggiunta dall'acqua. Questa semplificazione presenta certamente dei limiti, ma consente la realizzazione di una procedura facilmente applicabile e relativamente poco onerosa per stabilire l'esposizione a danno degli oggetti presenti sul territorio. [8].

Assumendo quindi che l'altezza d'acqua massima raggiunta possa essere ovunque utilizzata per descrivere l'intensità di piena, un primo approccio prevede la suddivisione della superficie interessata in poligoni caratterizzati da egual valore dell'altezza raggiunta dall'acqua (*isotiranti*). Nella determinazione di tali poligoni e nella scelta delle classi di altezza da utilizzare per descrivere in maniera discreta l'intensità della piena è necessario uniformarsi al livello di dettaglio con cui viene rappresentata la *danneggiabilità* degli oggetti presenti sul territorio coinvolti dalla piena. Questo modello, indicato come modello a *isotiranti* e brevemente descritto in seguito, viene messo a confronto con una procedura alternativa per la stima dei danni da inondazione indicata come modello *raster*.

La procedura di rasterizzazione fornisce in output una descrizione pressoché continua dell'area inondata e con dettaglio dell'ordine del passo della cella di rappresentazione dell'orografia, sia in termini di altezza dell'acqua che di vulnerabilità del territorio interessato dall'inondazione.

Poiché entrambi i modelli sono stati implementati con l'ausilio di tecnologie G.I.S..

#### *Vulnerabilità*

L'approccio tipicamente suggerito in letteratura per la stima del danno da inondazione prevede l'assunzione di *funzioni di danno* o *curve di vulnerabilità*. Tali funzioni rappresentano la relazione fra l'altezza del tirante idrico in corrispondenza del bene a rischio e il danno percentuale (inteso come percentuale del valore totale del bene che viene perduta) per una certa tipologia merceologica.

Vengono, quindi, trascurati i contributi di altri fattori quali ad esempio la velocità di flusso, il trasporto solido e la persistenza dell'inondazione per i quali non esistono studi dettagliati. E', tuttavia, ragionevole, ai fini di una valutazione del danno da inondazione condotta su larga scala, assumere il danno come funzione della sola altezza dell'acqua sopra al piano terra delle strutture e/o beni coinvolti e considerare la perdita economica tanto più gravosa quanto maggiore è il valore del tirante. Le curve di vulnerabilità sono, quindi, funzioni crescenti dell'altezza d'inondazione e non necessariamente continue (anche funzioni cosiddette "a gradino" possono ritenersi accettabili).

La letteratura, in particolare quella Americana, offre una vasta gamma di curve di vulnerabilità tipicamente ricavate da rilievi *post-inondazione* o da giudizi di esperti (*expert opinions*), relative a differenti categorie di danno.

La categoria di danno è riferita ad una o più tipologie di edifici o suolo accomunate da un medesimo comportamento ai fini della valutazione del danno da piena; è, quindi, caratterizzata da una stessa curva di vulnerabilità.

Facendo riferimento, pertanto, agli standard più frequenti di analisi delle curve di danno, la classificazione di uso del suolo proposta dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere, è stata reimpostata, come indicato in tabella 2, secondo i seguenti criteri:



- e categorie di uso del suolo “*edificato continuo*” e “*edificato discontinuo - case sparse*”, sono state attribuite a due distinte classi di danno, concordemente all’approccio suggerito dall’*U.S. Army Corps of Engineers* (modello HEC-FDA). Si può infatti ragionevolmente ritenere che le due classi comprendano tipologie edilizie differenti: abitazioni a più piani, spesso sede di attività commerciali al piano terra, nel caso della classe A e singole unità abitative, spesso ad un unico piano e prevalentemente ad uso residenziale, nel caso della classe B;
- la classe C comprende, invece, tutte le aree interessate da attività di carattere commerciale/industriale/artigianale/di stoccaggio o deposito merci;
- la classe D riunisce i cosiddetti servizi, cioè tutte quelle attività di pubblica utilità quali scuole, ospedali, ecc. che si differenziano dalla categoria residenziale in senso stretto per il maggior valore dei beni esposti a rischio (maggior valore del rapporto valore contenuto/valore struttura);
- nella classe di danno E sono state riunite le aree di localizzazione di impianti ad uso civile (inceneritori, depuratori), per i quali i danni principali connessi ad un eventuale inondazione riguardano l’interruzione di funzionalità.
- le classi F e G comprendono invece le aree ad uso agricolo, differenziate nelle due categorie di colture basse (classe F) e colture arboree (classe G).
- la classe H comprende le aree adibite ad attività zootecniche.
- infine, nella classe I sono state raggruppate tutte quelle zone per cui il danno può ritenersi nullo, come le zone boschive, i prati e pascoli, ecc.

Va osservato che nel caso delle classi di danno A, B, C e D il danno totale è risulta dalla somma del danno associato alla sola struttura e di quello associato al contenuto, come già descritto (Tabella 0-2).

Classi di danno	Tipologie secondo legenda ABT	Sigle
A	Edificato continuo	Rc
B	Edificato discontinuo Insediamenti sparsi	Rd +
C	Edificato industriale-artigianale-commerciale Deposito e stoccaggio	Pi Pd
D	Ospedali Scuole Caserme Stazioni ferroviarie Aeroporti Protezione civile	Sh Si Sm Sf Sa Sp
E	Depuratori Centrali elettriche Inceneritori Cimiteri	Td Te Ti Sc
F	Seminativi irrigui Seminativi asciutti Colture orticole Colture florovivaistiche e serricoltura Colture specializzate Colture miste	Ai Aa At Ac As Am
G	Vigneti Oliveti Frutteti	Av Ao Af
H	Aree per impianti zootecnici	Az
I	Aree in costruzione e trasformazione Aree archeologiche Discariche	Rt Vh Ts

	Aree nude non coltivate	An
	Cave impianti di lavorazione	Ca
	Masse boscate	Vb
	Boschi ripariali	Vr
	Impianti arborei lineari	Va
	Prati e pascoli	Vl
	Arbusteti e cespuglieti	Vc

Tabella 0-2: Raggruppamento delle categorie di uso del suolo in classi di danno

Per ciascuna classe, quindi, è possibile definire una coppia di curve di vulnerabilità, una relativa alla struttura, l'altra al contenuto.

I dati impiegati per la costruzione delle curve di vulnerabilità e l'interpolazione delle relative espressioni analitiche possono essere, di volta in volta, scelti fra i molteplici disponibili in letteratura, sulla base di considerazioni relative alle caratteristiche delle tipologie strutturali presenti nell'area di interesse. Tali dati, infatti, possono essere estrapolati a casi di studio relativi a zone diversamente collocate, in quanto riportano la percentuale di danno indipendente dall'effettivo valore delle strutture.

Di seguito vengono commentate le curve di vulnerabilità adottate per ciascuna delle classi di danno riportate in Tabella 0-2.

#### Classe A

Le curve di vulnerabilità per beni appartenenti alla classe A sono adeguatamente rappresentate dai dati riportati in *Methodology for flood damage assessment using GIS and distributed hydrologic model*, (Dushmanta Dutta, Srikantha Herath, 2000). L'andamento del danno percentuale  $d\%$  in funzione del tirante è rappresentato dalle curve di Figura 0-35; le relazioni analitiche sono date dalle Eq. 0-1 , Eq. 0-2.

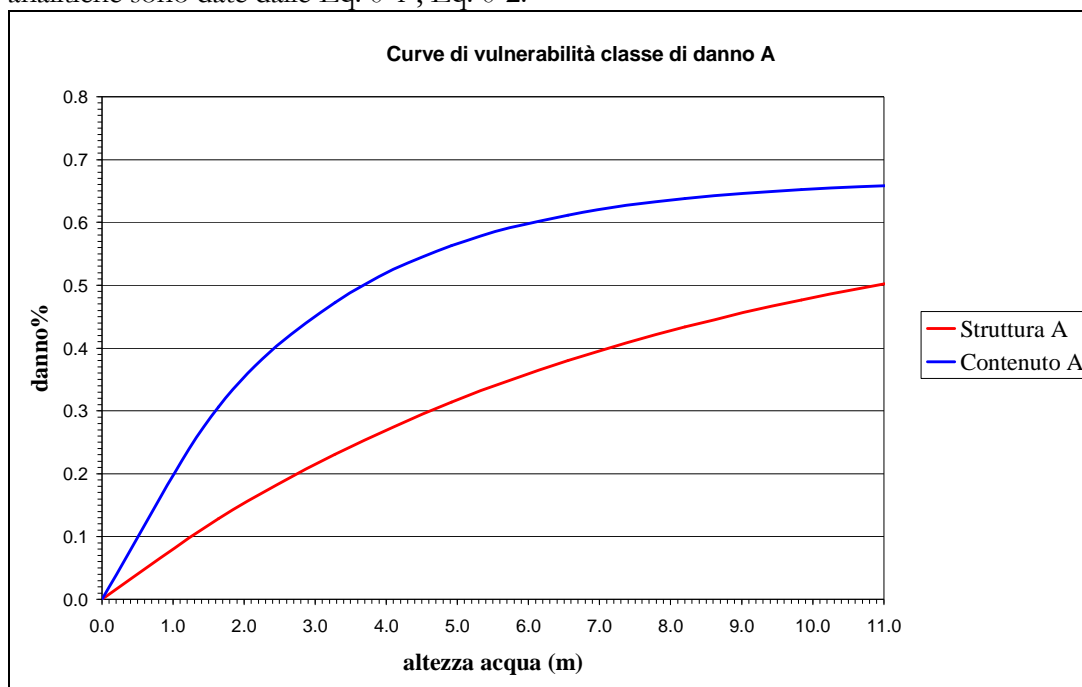


Figura 0-35: Curve di vulnerabilità per struttura e contenuto- classe A

Eq. 0-1

d%

Eq. 0-2

d%

### Classe B

Per edificato continuo ed insediamenti sparsi, ovvero per gli immobili della classe B, la costruzione delle relative curve di vulnerabilità può essere basata sui dati tratti dallo studio effettuato dall'*US Army Corp of Engineering - Hydraulic Center*, per l'area de *S. Fork Bear Creek*, nel quale è presentata una vasta gamma di dati per svariate tipologie d'uso. Le espressioni analitiche delle curve di vulnerabilità indicate in Figura 0-36 e Figura 0-37, necessarie ai fini dell'implementazione automatica del modello di calcolo del danno, sono state ricavate per interpolazione Eq. 0-3, Eq. 0-4, Eq. 0-5, Eq. 0-6.

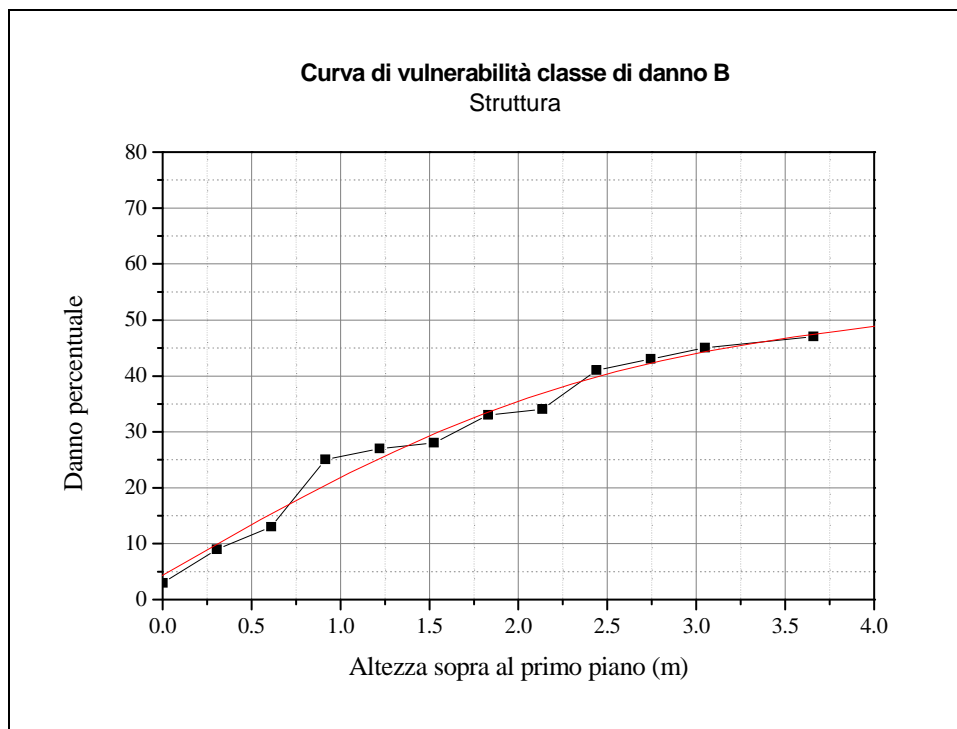


Figura 0-36: Classe B. Curve di vulnerabilità della struttura.

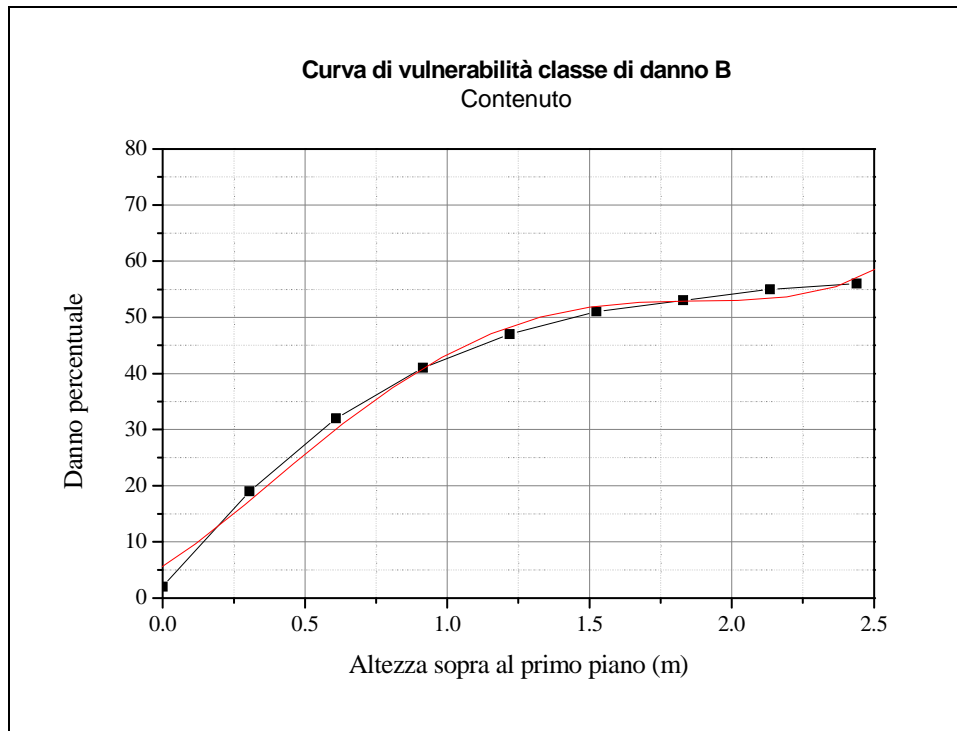


Figura 0-37: Classe B. Curve di vulnerabilità del contenuto.

Eq. 0-3

d%

Eq. 0-4

d%

Eq. 0-5

d%

Eq. 0-6

d%

### Classe C

I dati per la costruzione delle curve di vulnerabilità della classe di danno C, sono ancora tratti dallo studio effettuato dall'*US Army Corp of Engineering - Hydraulic Center* appena citato. Le espressioni analitiche delle curve di vulnerabilità sono state ricavate per interpolazione Eq. 0-7, Eq. 0-8, Eq. 0-9, Eq. 0-10, Eq. 0-11; l'andamento grafico è mostrato nelle Figura 0-38 e Figura 0-39.

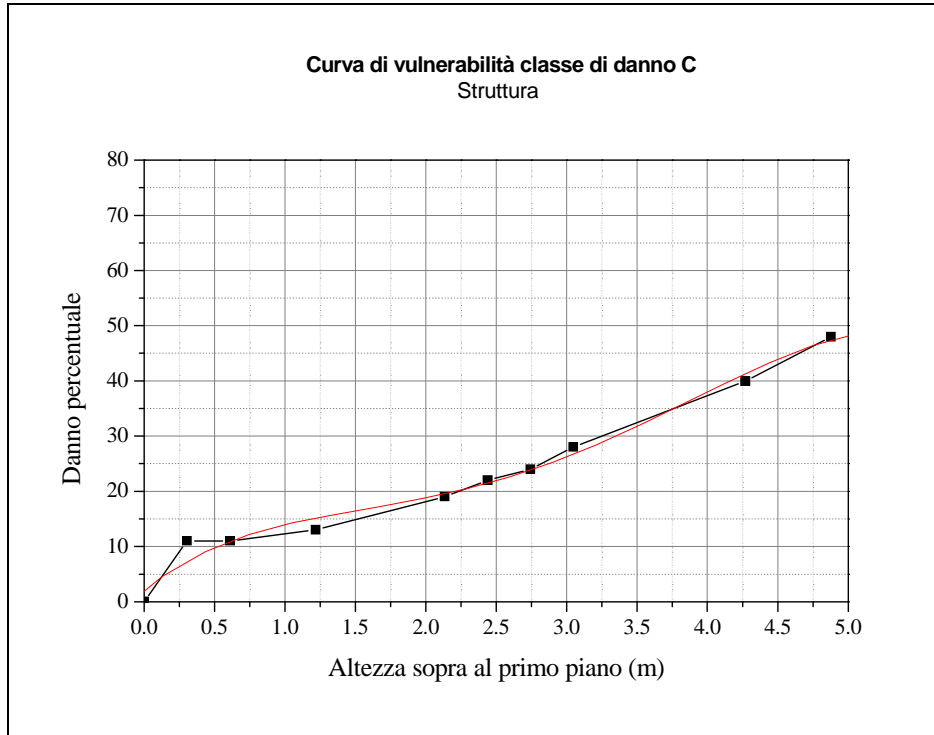


Figura 0-38: Classe C. Curva di vulnerabilità della *struttura*.

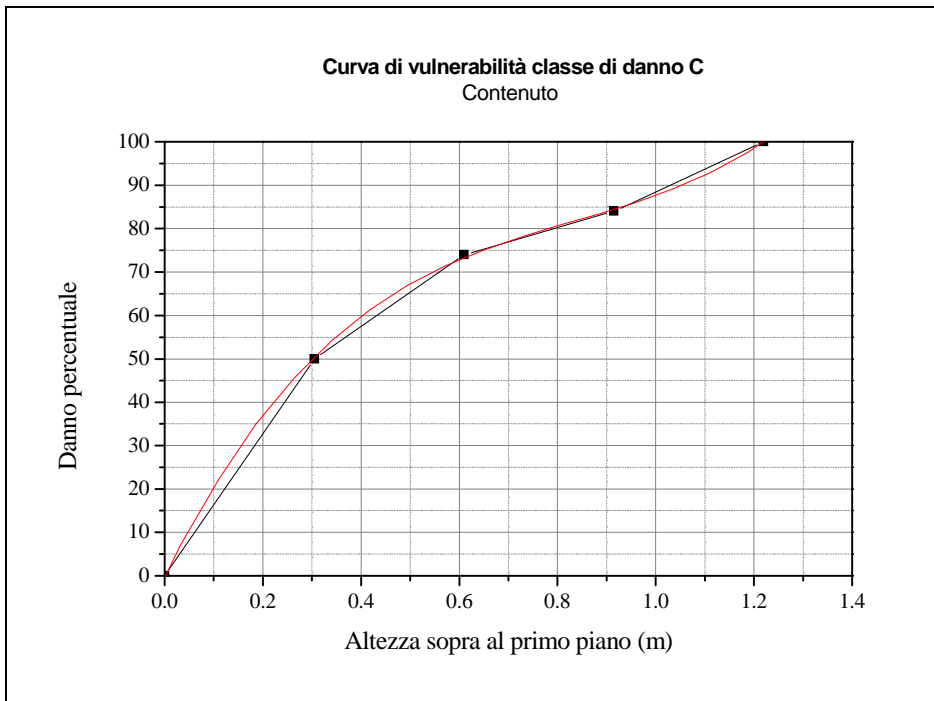


Figura 0-39: Classe C. Curva di vulnerabilità del contenuto.

Eq. 0-7

$d\%_{C, struttura}$

Eq. 0-8

$d\%_{C, struttura} =$

Eq. 0-9

$d\%_{C, contenuto} =$

Eq. 0-10

$d\%_{C, contenuto} =$

#### Classe D

Ammettendo che la classe di danno D differisca dalla classe B esclusivamente per il maggior valore del rapporto *valore contenuto/valore struttura*, l'andamento delle funzioni di danno percentuale, tanto per la struttura, quanto per il contenuto può essere derivato direttamente da quello delle curve di vulnerabilità di classe B, cui si rimanda integralmente.

#### Classe E

La classe di danno E comprende le aree di localizzazione di impianti ad uso civile, quali depuratori, inceneritori, ecc. Per tali beni, il danno associato ad un'eventuale inondazione è prevalentemente a carattere indiretto, legato cioè ad una temporanea perdita di funzionalità dell'impianto e ad interruzioni dell'esercizio. Come accennato, la valutazione del danno riguarda i riflessi indiretti sulla funzionalità dell'impianto stesso con le attività socio economiche ad esso associate. L'estrema incertezza legata a queste valutazioni e la singolarità delle strutture coinvolte suggerisce in prima approssimazione di assumere per la classe E una vulnerabilità nulla.

#### Classe F e G

La classe di danno F e la classe G comprendono tutte le aree interessate da colture agricole erbacee ed arboree. Per questa categoria di beni il danno prodotto da inondazione deriva essenzialmente dal mancato raccolto. Anche in questo caso il danno percentuale è stato calcolato come funzione univoca del solo tirante, trascurando altri contributi quali la durata dell'inondazione, la velocità e l'eventuale trasporto solido.

Per le colture basse sono stati impiegati i dati tratti dallo studio di C. Van der Sande (2001), *River flood damage assessment using IKONOS imagery*, promosso da European Commission, Joint Research Center, Space Applications Institute. I dati utilizzati e la curva interpolare sono illustrati in Figura 0-40; la relazione interpolare è esplicitata dalle Eq. 0-12 e Eq. 0-13.

Per le colture arboree può essere utilizzata la curva di vulnerabilità tarata sui dati dello studio NE TSC TECHNICAL NOTE - water shade - 16 Rev 2 1978 e TSC TECHNICAL NOTE - water shade - UD 28. In tale studio sono ampiamente discussi gli effetti prodotti dall'inondazione su diverse tipologie di colture; le relative curve di danno sono espresse sotto forma di funzioni a gradino. La Figura 0-41 mostra una tipica forma di tali curve.

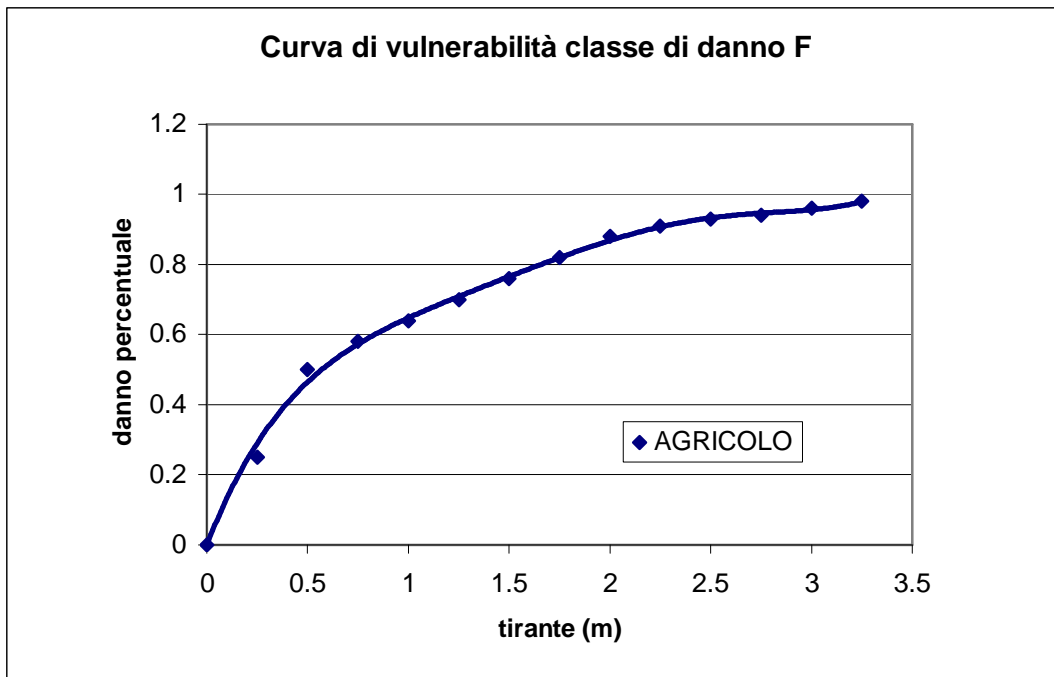


Figura 0-40: Classe F. Curva di vulnerabilità per colture erbacee.

Eq. 0-11

Eq. 0-12

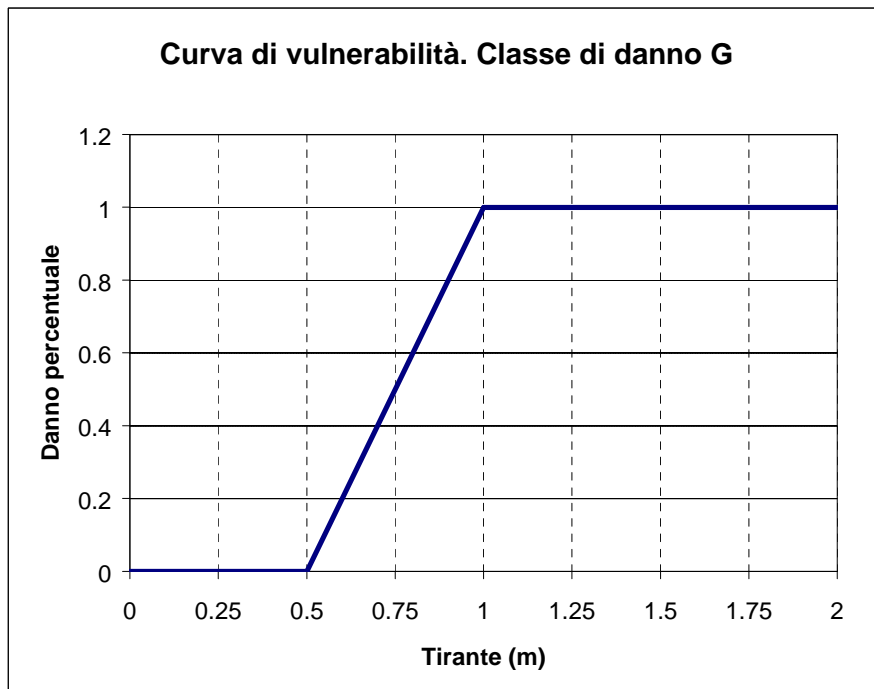


Figura 0-41: Classe F. Curva di vulnerabilità per colture arboree.

Eq. 0-13

d%

Eq. 0-14

d%

Eq. 0-15

d%

### Classe H

Per aree destinate ad usi zootecnici la stima del danno è legata alla perdita degli animali allevati. In prima approssimazione la curva di vulnerabilità può essere valutata zero fino a  $3/4$  dell'altezza media degli animali allevati o alla quota di posa di eventuali gabbie ed 1 per quote superiori, ipotizzando la perdita per annegamento degli animali.

### Classe I

La categoria I riunisce tutti gli altri usi del suolo di minore incidenza territoriale, tali da essere considerati delle singolarità, o a vulnerabilità trascurabile. Fanno eccezione aree archeologiche o di interesse storico, spesso contigue ai corsi d'acqua, per le quali è necessaria un'accurata valutazione di dettaglio supportata da specialisti del settore per valutare la singolarità del bene e i costi di eventuale restauro.

### *Definizione del grado di vulnerabilità*

L'andamento del danno percentuale con il livello dell'acqua sopra al piano terra ( o altre variabili) definisce la curva di vulnerabilità di un immobile cioè la relazione fra il danno percentuale e la quota del tirante idrico in funzione delle destinazioni d'uso dell'edificio o suolo inondato.

Il danno è funzione dell'altezza dell'acqua sopra al piano terra delle strutture coinvolte e la perdita economica sarà tanto più gravosa quanto maggiore è l'altezza dell'acqua sull'edificio.

La letteratura, in particolare quella Americana, offre una vasta gamma di curve di vulnerabilità tipicamente ricavate da rilievi post-inondazione o da giudizi di esperti, relative a differenti categorie di danno, la categoria di danno è riferita ad una o più tipologie di edifici o suolo accomunate da un medesimo comportamento ai fini della valutazione del danno da piena cioè caratterizzate da una stessa curva di vulnerabilità.

Nel caso in cui il bene a rischio non è collocabile in una ben definita categoria tipologica, per particolari caratteristiche legate all'unicità o pregio al dell'opera è necessario costruire ad hoc una curva di vulnerabilità.

A questo proposito è bene chiamare in causa opinioni di esperti, catalogare valori di danno rilevati su strutture simili in altre occasioni di inondazione, evidenziare caratteristiche come durabilità la corrodibilità dei materiali costruttivi delle strutture vulnerate.

L'elaborazione di tutti questi dati deve mettere in relazione il danno percentuale con una o più variabili come l'altezza dell'acqua, la velocità, la durata di permanenza della piena nel sito o altre che come il numero di abitanti e la densità di abitazioni per un certo storico o per le infrastrutture viarie il grado di frequentazione.

Grazie all'assunzione di questi dati deve essere ricavata, l'espressione analitica delle curve.

L'andamento della funzione può essere rappresentato in forma continua ( per interpolazione dei dati puntuali) oppure più semplicemente con una funzione a gradini come mostrato ad esempio in Tabella 0-3.

Tutte le funzione dopo un certo valore (L,M,N) tendono ad 1 ovvero al 100% di danno.



Un ulteriore grado di dettaglio può essere raggiunto nel caso in cui l'opera a rischio sia un edificio o comunque una struttura con un contenuto. A questo proposito è necessario costruire, come nel caso della struttura, delle curve *danno percentuale - altezza dell'acqua; danno percentuale - velocità dell'acqua; danno percentuale - durata del fenomeno esondativo (permanenza dell'acqua all'interno della struttura)* e definendo altri parametri se risultano rilevanti ai fini della valutazione di danno anche per il contenuto della struttura.

<b>OPERA</b>	.....
<b>DESCRIZIONE</b>	.....

TIRANTE		VELOCITA'		DURATA		ALTRO
Variabile	Funzione	Variabile	Funzione	Variabile	Funzione	
$0 < h < h_1$	$D = f(h)$	$0 < v < v_1$	$D_4 = f(v)$	$0 < d < d_1$	$D_8 = f(d)$	
$h_1 < h < h_2$	$D_1 = f(h)$	$v_1 < v < v_2$	$D_5 = f(v)$	$d_1 < d < d_2$	$D_9 = f(d)$	
$h_2 < h < h_3$	$D_2 = f(h)$	$v_2 < v < v_3$	$D_6 = f(v)$	$d_2 < d < d_3$	$D_{10} = f(d)$	
$h_3 < h < L$	$D_3 = 1$	$v_3 < v < M$	$D_7 = 1$	$d_3 < d < N$	$D_{11} = 1$	

Tabella 0-3: Grado di vulnerabilità dell'opera

### Analisi fluidodinamica

Come illustrato nei capitoli successivi la fase di analisi ha riguardato anche la modellazione dettagliata dell'onda generata dall'impatto del misto acqua fluviale/massa detritica con il mare. Quest'ultimo fenomeno può essere simulato schematizzando il misto acqua fluviale/massa detritica come un corpo, come un fluido pesante o come combinazione di più fluidi stratificati e studiando la formazione e la propagazione dell'onda che si genera a seguito dell'impatto.

Recenti risultati presenti in letteratura mostrano come i modelli semplificati tipo "1D shallow water equation", molto diffusi nelle applicazioni idrauliche, non siano adeguati per cogliere alcuni aspetti importanti del fenomeno, come, ad esempio, nel caso dell'onda generata da frane sottomarine, in cui l'altezza viene sottostimata [17]. In questi casi è quindi necessario risolvere numericamente le equazioni di Navier-Stokes.

Recentemente sono stati utilizzati per problemi idraulici modelli di simulazione 2D/3D comunemente utilizzati nella fluidodinamica ed aerodinamica e basati sulla risoluzione numerica delle equazioni complete di Navier-Stokes, con tecniche di discretizzazione spaziale ai volumi finiti o agli elementi finiti. L'utilizzo della modellistica 2D/3D nell'idraulica è particolarmente innovativa e sta raccogliendo molto interesse nell'ambiente scientifico-idraulico, anche grazie alle attuali tecnologie computazionali che hanno permesso di ridurre

notevolmente i tempi di calcolo dei codici CFD (Computational Fluid Dynamics) per simulare flussi multifase e multicomponente.

Questo tipo di modelli è adatto a simulare fenomeni transitori molto rapidi ed è perciò applicabile alla simulazione di eventi di generazione e propagazione di un'onda d'acqua. Le risorse computazionali richieste sono molto alte perché l'integrazione nel tempo è effettuata per intervalli temporali molto piccoli ( $10^{-3}$  -  $10^{-6}$  secondi).

Il fenomeno risulta, dunque, di grande complessità, essendo caratterizzato dalla presenza e dall'interazione di tre o più fluidi (multicomponente) in due fasi (multifase): acqua di mare, aria, misto acqua fluviale/massa detritica.

Il modello scelto, perché efficiente per le esigenze del calcolo del problema in questione, è il VOF ("Volume Of Fluid"), che permette di simulare due o più fluidi non miscibili fra loro: in quei casi l'interfaccia fra i fluidi è un'incognita aggiuntiva del problema fluidodinamico.

Il VOF associato alla risoluzione delle equazioni di conservazione con tecnica ai volumi finiti permette di modellare due o più fluidi non miscibili attraverso il tracciamento, con un'equazione di trasporto aggiuntiva, della frazione di volume di ognuno dei due fluidi attraverso l'intero dominio. Nel caso specifico, si ottiene una linea/superficie di interfaccia tra due zone omogenee e le onde generate che procedono nel dominio fluido saranno calcolate come "increspatura" nella zona di interfaccia fra le due fasi. La formulazione VOF permette, inoltre, di considerare gli effetti della tensione superficiale lungo l'interfaccia.

Il modello è stato testato e validato confrontando i risultati con dati sperimentali presenti in letteratura, per fenomeni di generazione e propagazione di un'onda d'acqua.

## Bibliografia

[1] Archivio Storico Municipio di Vietri, Lavori Pubblici (1877-1924).

[2] Violante C., Budillon, F. (2004) L'evento dell'ottobre '54 nell'offshore di Salerno: portata solida e trasporto eccezionale di sedimenti nelle adiacenti aree marine In "Il nubifragio dell'ottobre 1954 a Vietri sul mare - Costa di Amalfi, Salerno. Scenario ed effetti di una piena fluviale catastrofica in un'area di costa rocciosa" Pubbl. GNDCI n. 2870, ISBN 88-88885-03-X

[3] Budillon F., Violante C., Conforti A., De Lauro M., Ferraro L. & Sacchi M., (2000) Recurrence of sandy bodies in the recent stratigraphic record of Salerno continental shelf (Southern Italy): evidence for exceptional flooding events from high resolution seismics and cores. EGS, 25th General Assembly, Nice, France.

[4] F. Budillon \*, C. Violante, A. Conforti, E. Esposito, D. Insinga, M. Iorio, S. Porfido Event beds in the recent prodelta stratigraphic record of the small flood-prone Bonea Stream (Amalfi Coast, Southern Italy). *Marine Geology* 222–223 (2005) 419– 441

[5] F. Budillon, E. Esposito, M. Iorio, N. Pelosi, S. Porfido, and C. Violante The geological record of storm events over the last 1000 years in the Salerno Bay (Southern Tyrrhenian Sea): new proxy evidences. *Advances in Geosciences*, 2, 123–130, 2005

[6] Budillon F., Violante C., Esposito E., Iorio M., Porfido S., (2003) Ephemeral deltas and fossilized prodelta sandy lobes related to recent flooding events along the Vietri sul Mare coastal area (Salerno Gulf Southern Italy). In: Comdelta, Open Conf. Comparing Mediterranean and Black Sea Prodeltas, France.

[7] Casciello E., Cesarano M., Esposito E., Pappone G., Piaquadio G., Porfido S., Violante C., (2004) Dissesti idrogeologici nel bacino del Bonea, Costiera Amalfitana (Salerno). *Accademi dei Lincei*, Roma.

[8] Di Filippo, Molinaro, Pancheco (1995). IX International Conference on Finite Elements in Fluid Venezia 15-20 October 1995

[9] Esposito E., Porfido S., Violante C., (2003a) Reconstruction and recurrence of flood-induced geological effects: the Vietri sul Mare case history (Amalfi coast, Southern Italy). In: *Fast Slope Movements Prediction and Prevention for Risk Mitigation* (ed. by L. Picarelli). AGI 1, 169–172.

[10] Esposito, E., Porfido, S., Violante, C., Alaia, F., (2003b) Disaster induced by historical floods in a selected coastal area (Southern Italy). In: PHEFRA (Palaeofloods, Historical Data & Climatic Variability: Application in Flood Risk Assessment (ed. by V. R. Thorndycraft, G. Benito, M. Barriendos & M. C. Llasat), (Proc. Barcelona, Spain, Workshop (2002), 143–148

[11] Esposito E., Porfido S., Violante C., (2003) Fast slope movements prediction and prevention for risk mitigation. AGI, 1, 169-172,.

[12] Fumanti F., Rischia I., Serva L., Tranfaglia G., Trigila A., Violante C., (2001) Effetti sul territorio dell'evento meteorico del 7-8 ottobre 1899 nel salernitano. Accademia Nazionale die Lincei, atti dei Convegni dei Lincei, 181, 395-410.

[13] Frosini P., (1955) Il nubrifragio di Salerno del 25-26 Ottobre 1954. Giornale Genio Civile, (3- 4): 179-188.

[14] Hofmann A., (1955) Il nubifragio di Salerno. Rivista di tecnica agraria e forestale e di vita montana. Turing Club Italiano, 5-13.

[15] Il Mattino (annate 1954, 1955, 1988).

[16] Lazzari, A., (1954) Aspetti geologici dei fenomeni verificatisi nel Salernitano in conseguenza del nubrifragio del 25-26 Ottobre 1954. Bollettino Società dei Naturalisti, LXIII: 131-142.

[17] Mader C., Grittings M.(2002), Modeling the 1958 Lituya Bay mega tsunamis II, Science of tsunamis hazard , volume 20, number 5 page 241.

[18] Miranda A., (1971) Molina di Vietri sul Mare dalle origini ai giorni nostri. Jannone Ed., Salerno.

[19] Penta F., Lupino R., Camozza F., Esu F., (1954) Effetti dell'alluvione del 26 ottobre 1954 nel Salernitano. Rivista Italiana di Geotecnica, (6): 245-257.

[20] Sacchi M., Conforti A., Milia A., Molisso F., Violante (2004 Il Golfo di Salerno). – In “Il nubifragio dell'ottobre 1954 a Vietri sul mare - Costa di Amalfi, Salerno. Scenario ed effetti di una piena fluviale catastrofica in un'area di costa rocciosa” Pubbl. GNDCI n. 2870, ISBN 88-88885-03-X

[21] Violante C., Budillon F., Esposito E., Porfido S., Iorio M., Sacchi M., (2002) Sandy tabular bodies offshore Sorrento peninsula (Salerno southern Italy) and their relations with exceptional flooding events. Congresso AIQUA su: "Elementi cronostatigrafici per una correlazione fra successioni marine e continentali: stato delle conoscenze e nuovi dati. Bari, 43, abs.

## INDICE

<b>4</b>	<b>ANALISI FLUIDO DINAMICA .....</b>	<b>109</b>
4.1	INTRODUZIONE .....	109
4.2	FORMULAZIONE MATEMATICA .....	111
4.2.1	<i>Ipotesi del continuo</i> .....	111
4.2.2	<i>Approccio euleriano e lagrangiano</i> .....	113
4.2.3	<i>Il problema fluidodinamico</i> .....	114
4.2.4	<i>Equazione di stato</i> .....	115
4.2.5	<i>Equazione di continuità</i> .....	118
4.2.6	<i>Equazione di conservazione della quantità di moto</i> .....	119
4.2.7	<i>Equazione dell'energia</i> .....	121
4.2.8	<i>Turbolenza e modelli di turbolenza</i> .....	122
4.2.9	<i>Fluido Multifase – multicomponente</i> .....	126
4.2.10	<i>Modello VOF (Volume of Fluid )</i> .....	127
4.2.11	<i>Relazioni costitutive</i> .....	128
4.2.12	<i>Forma generale dell'equazione di bilancio</i> .....	128
4.2.13	<i>Condizioni iniziali ed al contorno</i> .....	129
4.3	SCHEMA NUMERICO .....	131
4.3.1	<i>Schema ai volumi finiti</i> .....	132
4.3.2	<i>Griglie di calcolo</i> .....	135
4.3.3	<i>Discretizzazione temporale</i> .....	141
4.3.4	<i>Schema VOF nel codice di calcolo CFD</i> .....	141
4.3.5	<i>Algoritmi di risoluzione</i> .....	144
4.3.6	<i>Diversi tipi di solver</i> .....	146
4.4	BIBLIOGRAFIA .....	148

## 4 ANALISI FLUIDO DINAMICA

### 4.1 INTRODUZIONE

L'utilizzo di tecniche numeriche e computazionali per la simulazione dei fenomeni reali sta assumendo un ruolo fondamentale nell'ingegneria moderna sia per l'aumento della competitività in tutti i settori sia per l'enorme sviluppo tecnologico degli ultimi anni. Ed è proprio quest'ultimo che ha consentito l'applicazione della simulazione numerica dettagliata ai processi ambientali, tipicamente simulati attraverso modelli semplificati.

La fluidodinamica computazionale (Computational Fluid Dynamics o CFD) è un valido mezzo di studio da affiancare alla tradizionale pratica sperimentale in quanto strumento versatile che può fornire risultati per una casistica di studio molto ampia in tempi molto minori e con costi inferiori rispetto alla sperimentazione tradizionale. Allo stato attuale i CFD vengono utilizzati in molti campi, da quello industriale a quello della ricerca, con esempi applicativi nell'aerodinamica per la progettazione dei veicoli, nell'analisi di motori a combustione interna, nello studio di camere di combustione di impianti di produzione energia, nel campo dell'elettronica per quanto riguarda lo studio di sistemi di raffreddamento di componenti di circuiti elettrici, nello studio di processi di miscelamento e di separazione dell'industria di processo, nel campo della progettazione civile, nel campo medico, nel campo meteorologico e solo recentemente sono apparsi studi CFD nel campo dell'idrologia, dell'idraulica e dell'oceanografia ( [5] [17] [18] ).

I maggiori vantaggi provenienti dall'utilizzo di CFD possono essere riassunti nei seguenti punti:

- sostanziale riduzione dei tempi e dei costi di progettazione per la possibilità di studiare un'ampia gamma di possibili scenari a costi ed in tempi molto inferiori alla pratica sperimentale;
- possibilità di studiare sistemi per i quali sia impossibile o difficoltosa la sperimentazione;
- possibilità di studiare sistemi in condizioni operative limite dal punto di vista della sicurezza o di simulare condizioni accidentali.

L'attività di simulazione numerica, però, non è una tecnica di studio che può essere utilizzata in sostituzione della sperimentazione in quanto basata su modelli e rappresentazioni semplificate di realtà fisiche, che, in quanto tali, non garantiscono la validità assoluta del risultato.

E' importante sottolineare, infatti, che i modelli numerici devono essere utilizzati con molta cautela, specialmente nel caso in cui lo scopo sia di tipo predittivo e nel caso siano utilizzati per la protezione civile. Un modello numerico, infatti, è soltanto una riproduzione dei fenomeni reali attraverso la risoluzione numerica di un set di equazioni matematiche che descrivono l'evoluzione di variabili che definiscono lo stato del sistema. L'evoluzione reale, però, è estremamente complessa e coinvolge fenomeni di varia natura (fisici e chimici), alcuni dei quali completamente sconosciuti. Questo significa che anche realizzando un modello di calcolo con un alto livello di dettaglio, esso è comunque una rappresentazione semplificata della realtà. E' importante, dunque, integrare la simulazione numerica alla sperimentazione in un approccio combinato:

- le simulazioni numeriche permettono di riprodurre i fenomeni avvenuti e predire quelli potenziali; nonostante lo sviluppo di sistemi di misura sempre più perfezionati e non intrusivi, non è possibile descrivere l'andamento delle grandezze (campi di moto e distribuzione dettagliata delle grandezze principali) per l'intero dominio spaziale di interesse in quanto restano sempre ampie zone inaccessibili; la CFD consente di completare i dati sperimentali fornendo delle distribuzioni plausibili delle variabili termofluidodinamiche;
- le misure sperimentali sono necessari per validare i modelli numerici; per la "decisione finale" è opportuno affidarsi alla sperimentazione.

L'analisi presentata in questa tesi è strutturata in maniera da ripercorrere gli step tipici nella realizzazione di un modello di calcolo:

- comprendere il sistema fisico in esame e tradurlo in equazioni matematiche, che nella loro forma più generale sono un sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali (modello matematico);
- queste equazioni generalmente non possono essere risolte in forma chiusa e sono quindi discretizzate nello spazio e nel tempo per permetterne la risoluzione numerica; il dominio spaziale è diviso in piccoli elementi costituenti al griglia o mesh (modello o schema numerico); il dominio temporale è suddiviso in piccoli intervalli di tempo;
- una volta che il modello numerico è stato realizzato per una particolare applicazione è necessario confrontare i risultati numerici con dati sperimentali al fine di valutare l'attendibilità del modello e il livello di incertezza; è evidente, infatti, come l'applicazione di un modello porti inevitabilmente a delle approssimazioni in quanto non vengono considerati tutti i possibili fenomeni fisici, ma solamente quelli che, per l'esperienza accumulata, si ritengono maggiormente influenti sulla dinamica del sistema ed è quindi necessario provare



sperimentalmente che le assunzioni alla base dell'utilizzo di un modello siano valide. (validazione)

- un modello opportunamente validato può essere utilizzato per l'applicazione di interesse.

## **4.2 FORMULAZIONE MATEMATICA**

### *4.2.1 Ipotesi del continuo*

La fluidodinamica è quella branca della meccanica del continuo che studia la dinamica dei fluidi [24]. Sebbene ognuno di noi intuisca che acqua ed aria sono dei fluidi, mentre un blocco di marmo o un cubo di acciaio non lo sono, la definizione di fluido non è un concetto ben definito in quanto si basa più sulla risposta del materiale alle sollecitazioni esterne piuttosto che sulla struttura della materia. Per vie molto generali si possono schematizzare i solidi come dei materiali in cui gli atomi o le molecole occupano delle posizioni ben definite e vengono mantenuti in tali posizioni da forze che divengono fortemente repulsive appena la distanza tende a diminuire ed attrattive quando aumenta. In tale situazione gli atomi vibrano con oscillazioni di piccola ampiezza senza tuttavia modificare la struttura del legame.

Al contrario nei gas gli atomi o molecole non hanno una posizione definita e si muovono di un moto casuale (agitazione termica) variando continuamente direzione a causa degli urti tra le varie molecole. La distanza media percorsa tra un urto ed il successivo è detta libero cammino medio ( $\lambda$ ) e nei gas questa distanza è molto più grande della distanza  $d$  di equilibrio tra forze attrattive e repulsive. Ciò giustifica la grande facilità che hanno i gas di cambiare volume quando viene variato lo spazio a loro disposizione.

I liquidi hanno una struttura intermedia tra i solidi ed i gas in quanto sono formati da molecole la cui distanza reciproca è mediamente dell'ordine di  $d$  ma non sono vincolate a mantenere una posizione fissa. Da questa struttura ne consegue che un liquido varia la propria forma con estrema facilità mentre per avere variazioni di volume servono sollecitazioni esterne estremamente elevate.

Finora abbiamo descritto alcune proprietà dei materiali guardando alla loro struttura microscopica, cercando cioè di dedurre le loro proprietà in base alla disposizione dei loro atomi o molecole. Abbiamo così visto come gas e liquidi siano accomunati dalla caratteristica di cambiare facilmente forma quando sono soggetti ad un'azione esterna di taglio.

In base a questa proprietà un fluido può essere definito come un materiale in grado di deformarsi indefinitamente quando sottoposto ad una sollecitazione tangenziale esterna ed al

cessare di tale azione non recupera la sua forma iniziale. In altre parole, in condizioni di quiete, un fluido resiste solo agli sforzi normali. Bisogna notare come queste definizioni siano di tipo fenomenologico, in quanto prescindono dalla struttura intima del materiale ma considerano solo la sua risposta ad azioni esterne.

La definizione di fluido implica, dunque, la reazione macroscopica di un materiale a delle azioni esterne e richiede quindi la valutazione di quantità su scala estremamente più grande rispetto a quella molecolare; ciò conduce in modo naturale alla definizione del concetto di continuo.

Si consideri una qualunque grandezza  $q$  (pressione, temperatura, velocità, energia, etc.) e si valuti la sua dipendenza dall'estensione del volume sul quale viene misurata. In generale si otterrà un andamento come quello in Figura 4-1 dove si possono osservare tre regioni distinte. Nella regione I si hanno variazioni discontinue della grandezza misurata dovute alla insufficienza statistica dei campioni contenuti nel volume di misura; se infatti si misurasse la temperatura o la pressione in un volume di misura così piccolo contenente un numero enorme di molecole, la media di  $q$  risulterebbe fortemente dipendente dal numero di campioni e quindi dall'estensione del volume stesso. Nella regione II si ha invece un valore stabile di  $q$  in quanto il volume di misura contiene un numero elevato di atomi o molecole ( $> O(10^6)$ ) e quindi la media di  $q$  risulta indipendente dall'estensione del volume stesso. Nell'ultima parte del grafico, infine (regione III) si hanno nuovamente delle variazioni di  $q$  questa volta però legate al fatto che le quantità sono delle funzioni dello spazio ed il loro valore varia quindi da punto a punto.

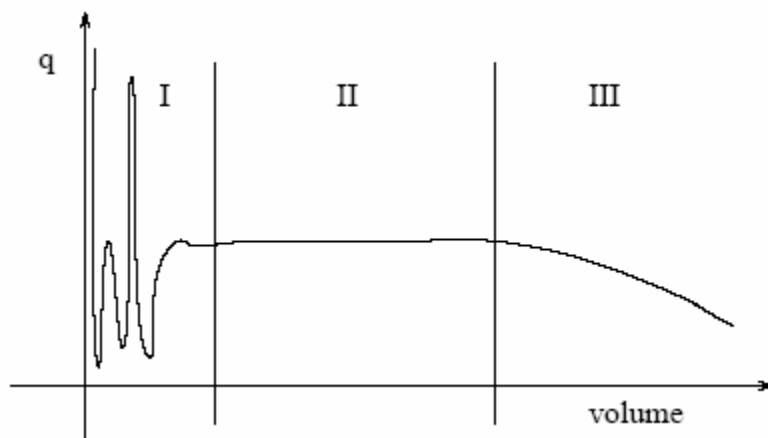


Figura 4-1 Variazione del valore misurato di una grandezza  $q$  in relazione alle dimensioni del volume di misura [24].

Abbiamo così stabilito che per poter parlare di continuo, bisogna avere all'interno del proprio volume di misura un numero sufficientemente elevato di atomi o molecole in modo da avere delle medie indipendenti dal numero di elementi contenuti nel volume stesso.

L'ipotesi di considerare il fluido a livello macroscopico come un mezzo continuo, senza tenere conto del moto delle singole molecole implica che quando si definisce il valore di una grandezza in un singolo punto P in realtà si fa riferimento al valore medio di tale grandezza misurato all'interno di un volumetto  $\delta v'$  di cui P è il baricentro. Tale volume deve essere così piccolo da potersi considerare infinitesimo rispetto alle variazioni spaziali delle grandezze macroscopiche, ma contemporaneamente deve essere sufficientemente grande da poter contenere un numero elevato di molecole per far sì che il valore di ogni grandezza risulti staticamente stazionario. Comunemente il volume infinitesimo  $\delta v'$  prende il nome di "elemento fluido" o "particella fluida".

Se si volesse quindi definire ad esempio il valore della densità  $\rho$  in un punto P, baricentro di un volume  $\delta v'$  contenente una massa  $\delta m$  si ha:

$$\text{Eq. 4-1} \quad \rho(P) = \lim_{\delta v \rightarrow \delta v'} \frac{\delta m}{\delta v}$$

Nel caso di flussi liquidi l'ipotesi di continuo è ampiamente soddisfatta. Si può così parlare di proprietà del fluido senza considerare le caratteristiche delle singole molecole appartenenti alla particella fluida. L'ipotesi del continuo appena descritta è la base della modellizzazione matematica classica della fluidodinamica generalmente conosciuta con il nome di "equazioni di Navier-Stokes".

#### 4.2.2 *Approccio euleriano e lagrangiano*

Volendo descrivere la fenomenologia di un efflusso, l'analisi può essere condotta secondo due diversi criteri di impostazione e, a seconda degli obiettivi, può essere preferito l'uno o l'altro.

Un criterio è quello lagrangiano, che consiste nel seguire l'evoluzione di ogni particella nel tempo t, lungo la sua traiettoria (da qui il nome "balistico"). Esso consente la completa descrizione dell'efflusso, in funzione delle quattro variabili x, y, z e t, dette appunto variabili lagrangiane.

L'altro criterio di analisi è quello euleriano, che consiste nel seguire in funzione del tempo, quel che avviene in un certo dominio definito in seno all'efflusso.

Il dominio viene chiamato spazio controllato o volume di controllo e la superficie chiusa che lo delimita prende il nome di superficie di controllo. Le variabili euleriane sono dunque le coordinate  $x$ ,  $y$  e  $z$  di ogni punti dello spazio controllato ed il tempo  $t$ .

L'analisi condotta secondo il criterio euleriano consente così di descrivere quel che avviene in ogni istante in ciascun punto dello spazio controllato.

Per chiarire con un esempio la differenza fra i due criteri, quando si seguono le evoluzioni di un uccello nel cielo si sta adottando un punto di vista lagrangiano in quanto si fissa ad un certo istante un oggetto e lo si segue nel tempo. Al contrario, se si osserva il mare attraverso un foro nel ghiaccio, la descrizione risulta euleriana considerando che si dispone di un punto di osservazione fisso nello spazio attraverso cui passano in continuazione differenti particelle di fluido.

Tra i due criteri di analisi esistono comunque delle correlazioni che legano i parametri cinematici del moto. E' utile mettere in evidenza che le derivate delle funzioni hanno, con i due criteri, significati diversi. Secondo il criterio lagrangiano le derivate sono sostanziali rispetto al tempo (da indicarsi con l'operatore  $d/dt$ ), mentre secondo il criterio euleriano esse sono locali o parziali (da indicarsi con l'operatore  $\partial/\partial t$ ).

Entrambi i criteri d'analisi fluidodinamica appena richiamati consentono la completa descrizione di un efflusso.

Generalmente, essendo impossibile identificare le singole particelle fluide in un flusso, la descrizione lagrangiana non viene praticamente mai utilizzata anche se dal punto di vista teorico ha il vantaggio di fornire delle espressioni di più immediata comprensione per molte grandezze fluidodinamiche.

### *4.2.3 Il problema fluidodinamico*

Descrivere matematicamente un efflusso dal punto di vista euleriano e sotto l'ipotesi del continuo significa determinare istante per istante le tre grandezze dello stato fisico del fluido e le condizioni cinematiche dell'efflusso [1] [6] [13] [10] [3]:

- la densità, che misura la quantità di massa contenuta nell'unità di volume e viene generalmente indicata con il simbolo  $\rho$ ;
- la pressione,  $P$ ;
- la temperatura  $T$ ;

- la velocità,  $\vec{V}$ , che essendo una grandezza vettoriale deve essere determinata in modulo, direzione e verso.

Queste sono le incognite del cosiddetto “problema fluidodinamico”, la cui impostazione dal punto di vista matematico richiede dunque l’individuazione di tre equazioni scalari (per  $\rho$ ,  $P$  e  $T$ ) ed una equazione vettoriale (per  $\vec{V}$ ).

La determinazione delle equazioni necessarie allo scopo, cioè la definizione del modello matematico, significa, dunque, affrontare il problema del moto dei fluidi come effetto di forze applicate, sia esternamente che generate all’interno del fluido stesso. Questo argomento costituisce la dinamica dei fluidi e comprende la derivazione delle equazioni di bilancio e conservazione (rispettivamente quantità di moto, massa ed energia). L’equazione scalare mancante deriva dall’applicazione dell’equazione di stato. Le equazioni devono poi essere specializzate al particolare fluido in esame attraverso le proprie equazioni costitutive. Le equazioni che esprimono le leggi fondamentali suddette possono essere scritte in forma integrale (riferite cioè a volumi finiti di fluido) o in forma differenziale (riferendole ad una particella elementare di fluido).

#### 4.2.4 Equazione di stato

La proprietà fisica che caratterizza i fluidi (e li differenzia dai solidi) è la loro mancanza di forma definita e la loro possibilità di deformazione finita anche sotto l’azione di forze infinitesime, purchè opportunamente applicate. Più precisamente un fluido può essere definito come una sostanza che si deforma continuamente sotto l’azione di forze tangenziali. Viceversa, in uno stato di quiete, cioè di equilibrio statico, una particella fluida è sottoposta soltanto ad azioni normali alla propria superficie (dette forze di pressione), e non ad azioni tangenziali (in contrasto a quanto avviene per i solidi).

I fluidi possono essere divisi in liquidi e gas la cui differenza principale, tra le proprietà meccaniche, sta nella elasticità cioè nella loro diversa comprimibilità. I gas possono essere compressi molto più facilmente dei liquidi e quindi qualsiasi moto che comporti variazioni apprezzabili di pressione è accompagnato da variazioni di volume specifico molto maggiori rispetto ai liquidi.

In genere i liquidi possono essere considerati incomprimibili per cui la loro equazione di stato può essere espressa semplicemente nella forma:

$$\text{Eq. 4-2} \quad d\rho = 0$$

Tuttavia tutti i fluidi a rigore sono comprimibili, nel senso che essi riducono il loro volume quando assoggettati ad un aumento di pressione. Ciò avviene, seppure in modesta misura, anche per i liquidi come l'acqua, definiti "incomprimibili". La comprimibilità dei fluidi fa sì che una qualsiasi perturbazione (ad esempio una variazione istantanea di pressione) si propaghi nel dominio del fluido con una velocità finita, dipendente dalle caratteristiche e dallo stato del fluido, oltre che dall'intensità della perturbazione.

La comprimibilità del fluido può essere definita, con criterio analogo a quello seguito per i solidi elastici, da un modulo di elasticità:

$$\text{Eq. 4-3} \quad E = -\frac{dP}{dv/v} = \rho \frac{dP}{d\rho}$$

La derivata  $\frac{dP}{d\rho}$  che compare, ha le dimensioni del quadrato di una velocità, dunque si può scrivere:

$$\text{Eq. 4-4} \quad a = \sqrt{\frac{dP}{d\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

che è appunto denominata velocità caratteristica adiabatica ed è pari alla velocità con cui si propaga una perturbazione infinitesima di pressione nel mezzo fluido con modulo di elasticità  $E$ . Dato che il suono produce una perturbazione di pressione molto piccola, spesso si viene denominata anche velocità del suono.

Nell'acqua alle condizioni ambiente una variazione di pressione di 1 bar produce una variazione di massa volumica dell'ordine di  $0,1 \text{ kg/m}^3$  e di conseguenza la velocità di propagazione della perturbazione è di circa 1000 m/s. Questo valore è talmente elevato da potersi considerare infinito nella maggioranza dei fenomeni che interessano l'idraulica e solo in rari casi, come il colpo d'ariete, essa gioca un ruolo fondamentale. Tuttavia nel calcolo numerico di un efflusso non stazionario, la propagazione di pressione assume un ruolo necessario per il procedere della simulazione per intervalli temporali finiti ma molto piccoli e quindi l'equazione di continuità più spesso usata è:

$$\text{Eq. 4-5} \quad d\rho = a^2 dP$$

fissando un valore costante di  $a$ .

Per i fluidi aeriformi l'equazione di stato è più complessa e lega la variazione di densità a quella della pressione  $p$  e della temperatura assoluta  $T$  (intese come funzioni di stato termodinamiche).

Nel caso in cui il gas da simulare sia lontano dalle condizioni critiche, come l'aria alle condizioni ambiente, esso segue con buona approssimazione l'equazione di stato di un gas perfetto:

$$\text{Eq. 4-6} \quad P = \rho RT$$

dove  $R$  è la costante caratteristica del gas (per l'aria secca  $R=287 \text{ m}^2/\text{sec}^2/^\circ\text{K}$ ) pari al rapporto fra la costante universale dei gas e il peso molecolare del gas simulato.

Le variazioni di volume specifico di un fluido aeriforme sono molto più significative rispetto al caso di fluidi liquidi. Ad ogni modo, la propagazione di una perturbazione di pressione in un fluido è un processo talmente veloce da potere essere considerato adiabatico e nel caso ideale isoentropico. Per un gas perfetto l'equazione che caratterizza una trasformazione isoentropica è della seguente forma

$$\text{Eq. 4-7} \quad P\rho^\gamma = \text{costante}$$

dove  $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$  è il rapporto tra i calori specifici del gas a pressione e volume costante.

Combinando le equazioni si ottiene

$$\text{Eq. 4-8} \quad a^2 = \sqrt{\frac{dP}{d\rho}} = \gamma RT$$

in cui si vede che per un gas perfetto la velocità del suono dipende solo dalla temperatura assoluta del gas. Occorre precisare che il valore di  $a$  così calcolato non è in realtà quello della velocità di una perturbazione di pressione qualunque ma il suo valore minimo, corrispondente all'intensità infinitesima della perturbazione stessa.

Per l'aria in condizioni standard,  $T=15 \text{ }^\circ\text{C}$ , la velocità caratteristica adiabatica a vale  $340,5 \text{ m/sec}$ .

Fino ad ora sono state introdotte alcune grandezze termodinamiche come pressione  $P$ , temperatura  $T$  e densità  $\rho$  le quali nella termodinamica classica sono riferite a stati di equilibrio delle sostanze.

Tali grandezze accennate e le grandezze di stato che ne derivano possono trovare diretta applicabilità nella descrizione dei processi dei fluidi in quiete e, a rigore, non in quelli in cui il fluido è in moto, cioè quando ogni particella è lontana dalle condizioni di equilibrio termodinamico.

Tuttavia purché le variazioni spaziali e temporali delle varie grandezze non siano molto grandi si può ipotizzare un equilibrio termodinamico locale di ogni particella fluida e quindi applicare ad essa i concetti e le definizioni della termodinamica classica.

#### 4.2.5 Equazione di continuità

Un'altra equazione scalare necessaria per la descrizione dell'efflusso è quella che sancisce la congruenza della massa, ovvero la continuità.

Il concetto di congruenza vale in qualsiasi punto del dominio dell'efflusso. Considerando nel generico punto un cubo elementare di dimensioni differenziali  $dx$ ,  $dy$  e  $dz$  secondo tre assi coordinati ortogonali, il bilancio ingresso-uscita dei flussi del vettore  $\rho \vec{V}$  porta alla seguente relazione:

$$\text{Eq. 4-9} \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V}) = 0$$

che è l'equazione di conservazione della massa nella sua forma differenziale.

Allo stesso modo, prendendo un sistema materiale e ponendo che la sua massa  $M$  non varia nel tempo, ne consegue:

$$\text{Eq. 4-10} \quad \frac{dM}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{\Omega} \rho dW = \int_{\Omega} \frac{\partial \rho}{\partial t} dW + \int_{\Sigma} \rho \vec{V} d\vec{S} = 0$$

dove  $W$  è la misura del volume di controllo  $\Omega$  e  $S$  della superficie di contorno  $\Sigma$ .

Se il volume di controllo è fisso e sussistono le condizioni per l'applicazione del teorema della divergenza, la Eq. 4-10 si può scrivere come:

$$\text{Eq. 4-11} \quad \int_{\Omega} \left[ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V}) \right] dW = 0$$

che sancisce la congruenza fra la forma differenziale e la forma integrale dell'equazione di continuità.



#### 4.2.6 Equazione di conservazione della quantità di moto

L'equazione dell'impulso, applicata ad un sistema fluido, afferma che la variazione della quantità di moto  $\bar{Q}$  del sistema è pari all'impulso globale  $\bar{J}$  che il sistema riceve. Questa equazione è vettoriale perché la quantità di moto, prodotto di massa e velocità, e l'impulso,  $\bar{J} = \bar{F}dt$  prodotto della forza  $\bar{F}$  e del tempo di applicazione, sono entrambi vettori. Considerando il generico volume di controllo  $\Omega$ , l'equazione suddetta può dunque scriversi come:

$$Eq. 4-12 \quad \frac{d\bar{Q}}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{\Omega} \rho \bar{V} dW = \bar{F}$$

Introducendo il concetto di tensore degli sforzi di superficie,  $T$ , ponendo  $T = -pI + \tau$  in cui  $p$  è la pressione,  $I$  è il tensore identità e  $\tau$  è la parte deviatorica del tensore degli sforzi viscosi (in questa decomposizione il tensore degli sforzi di superficie  $T$  viene decomposto in una parte isotropa dovuta alla pressione ed una parte deviatorica dovuta alla viscosità), e applicando il teorema del trasporto di Reynolds ed il teorema della divergenza si ottiene la forma integrale del bilancio di quantità di moto:

$$Eq. 4-13 \quad \int_{\Omega} \left[ \frac{\partial \rho \bar{V}}{\partial t} + \bar{\nabla} (\rho \bar{V} \bar{V}) \right] dW = \int_{\Omega} (-\bar{\nabla} p + \bar{\nabla} \tau + \rho \bar{f}) dW$$

in cui  $f$  è la densità delle forze di volume (nel caso della sola forza peso  $f$  risulterebbe essere l'accelerazione di gravità).

Dovendo sussistere l'identità dei due membri per qualunque scelta del volume di controllo  $\Omega$ , devono necessariamente risultare uguali le funzioni integrande da cui:

$$Eq. 4-14 \quad \frac{\partial \rho \bar{V}}{\partial t} + \bar{\nabla} (\rho \bar{V} \bar{V}) = -\bar{\nabla} p + \bar{\nabla} \tau + \rho \bar{f}$$

che è l'equazione di bilancio della quantità di moto in forma differenziale.

Una particella in quiete sarà sottoposta solo a sforzi ortogonali alla sua superficie a differenza di ciò che accade quando la particella si pone in moto dove le azioni alle quali è sottoposto hanno anche direzione tangenziale. Tali forze nascono dalla tendenza dell'elemento fluido a resistere alla propria deformazione ed, in particolare alla propri distorsione. Il meccanismo fisico che sta alla base di questo fenomeno deve essere ricercato a livello molecolare, ed è legato agli scambi di quantità di moto tra i diversi strati di fluido che si trovano a velocità diversa, dovuti al moto di agitazione molecolare caratteristico di ogni sostanza.

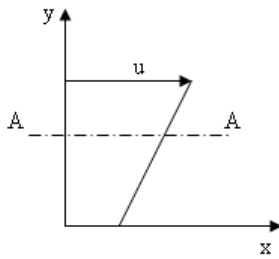


Figura 4-2: Scambi di quantità di moto tra i diversi strati di fluido

Se si considera la superficie della sezione A:A in Figura 4-2, le molecole che la attraversano dall'alto verso il basso saranno dotate di una quantità di moto superiore a quella che possiedono le molecole che incontreranno e quindi tenderanno a trascinare lo strato di fluido sottostante. Il fenomeno inverso si avrà a causa delle molecole che (a livello microscopico) attraverseranno verso l'alto la superficie A:A e tenderanno quindi a frenare le particelle poste al di sopra di tale superficie. Le azioni di trascinamento o di frenamento che si creeranno, sia sotto sia sopra la superficie saranno uguali e contrarie e proporzionali al gradiente di velocità che macroscopicamente in questo caso vale  $\frac{\partial u}{\partial y}$ .

Si può ipotizzare che il legame fra tale grandezza e l'azione tangenziale sia lineare e porre

$$\text{Eq. 4-15} \quad \tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y}$$

dove  $\mu$  è un coefficiente di proporzionalità tipico del fluido considerato, detto “viscosità dinamica” e ha le dimensioni di  $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ .

Per ogni fluido la viscosità dinamica non è una costante ma dipende dalla temperatura. Ciò è comprensibile, in quanto per il meccanismo fisico prima descritto, l'azione tangenziale sarà tanto più grande quanto maggiore è la velocità di agitazione molecolare del fluido che come è noto, dalla teoria cinetica dei gas, è strettamente legata alla temperatura (è all'incirca proporzionale alla  $T^{0.5}$ ).

Questa è la definizione dei cosiddetti “fluidi Newtoniani” la cui equazione costitutiva completa determina la forma del tensore T:

$$\text{Eq. 4-16} \quad \mathbf{T} = -\frac{2}{3}\mu(\nabla \cdot \mathbf{V})\mathbf{I} + 2\mu\boldsymbol{\varepsilon}$$

in cui  $\boldsymbol{\varepsilon}$  è il tensore velocità di deformazione,  $\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)$ .

L'equazione di conservazione della quantità di moto diventa dunque

$$\text{Eq. 4-17} \quad \frac{\partial \rho \bar{V}}{\partial t} + \bar{\nabla}(\rho \bar{V} \bar{V}) = -\bar{\nabla} p + \rho \bar{f} + \frac{\mu}{3} \bar{\nabla}(\nabla \bar{V}) + \mu \nabla^2 \bar{V}$$

che è l'equazione vettoriale di Navier–Stokes per flussi a viscosità costante nello spazio.

La viscosità del fluido produce anche delle tensioni normali alla superficie degli elementi fluidi, aggiuntive alla pressione termodinamica, legate alla deformazione lineare, cioè in generale legate alla presenza dei gradienti delle varie componenti di velocità nella loro stessa direzione. Tuttavia nella maggior parte delle situazioni di pratico interesse tali tensioni normali generate dalla viscosità del fluido possono essere trascurate rispetto alla pressione.

Certi fluidi come l'aria e l'acqua sono poco viscosi cioè caratterizzati da coefficienti di viscosità molto bassi ciò porta a studiarne il moto come fluidi “ideali non viscosi” caratterizzati dal coefficiente viscosità nullo. Tale caratterizzazione porta a notevoli semplificazioni del modello matematico del fluido.

La condizione al contorno per un fluido non viscoso è semplicemente che la componente di velocità normale alla parete solida sia nulla, o, più precisamente che sia nulla la componente di velocità relativa fra fluido e parete. Così, se  $\bar{V}$  è la velocità della particella fluida in contatto con la parete,  $\bar{V}_p$  la velocità della parete ed  $\bar{n}$  la normale alla parete stessa la condizione suddetta può esprimersi

$$\text{Eq. 4-18} \quad (\bar{V} - \bar{V}_p) \cdot \bar{n} = 0$$

Viceversa per un fluido viscoso in contatto con la parete si ha che le particelle fluide rimangono ad essa aderenti, per cui nel caso generale di velocità della parete non nulla, la condizione al contorno diviene:

$$\text{Eq. 4-19} \quad (\bar{V} - \bar{V}_p) = 0$$

In questo caso quindi non solo la componente normale, ma anche quella tangenziale della velocità relativa tra fluido e parete è nulla.

#### 4.2.7 Equazione dell'energia

Il campo di temperatura viene determinato attraverso il primo principio della termodinamica che sancisce anch'esso un principio di conservazione dell'energia, legando energia termica ed energia meccanica. Nel caso in esame per questo lavoro di tesi, così come nella maggior parte

delle applicazioni idrauliche, si fa l'ipotesi di sistema isoterma, per cui l'ultima equazione scalare diventa:

$$\text{Eq. 4-20} \quad dT = 0.$$

#### 4.2.8 *Turbolenza e modelli di turbolenza*

I flussi reali sono generalmente turbolenti e sono caratterizzati da campi di velocità fluttuanti che coinvolgono variazioni del momento, dell'energia e delle concentrazioni degli elementi [24].

Sebbene il concetto di turbolenza sia abbastanza chiaro per ognuno di noi, non è altrettanto chiaro l'effetto che ha la turbolenza sulle caratteristiche globali di un flusso. Si consideri, ad esempio l'accensione di una sigaretta all'interno di una stanza; è esperienza comune che dopo pochi secondi la presenza del fumo può essere avvertita in tutta la stanza, indicando che il fumo ha "diffuso" ovunque. Si potrebbe pensare che la diffusione sia la causa di questo fenomeno ma una stima delle scale temporali esclude inequivocabilmente questo fattore. Detta infatti  $\nu$  la viscosità cinematica dell'aria ed  $L$  pari a 4 m la distanza percorsa dal fumo, il tempo impiegato dal fumo per percorrere tale lunghezza risulta pari a circa 12 giorni.

Si potrebbe comunque osservare che poiché il fumo di sigaretta è più caldo dell'aria circostante, la convezione naturale ha un ruolo rilevante nella diffusione del fumo. Una stima dimensionale, tuttavia fornisce delle velocità dell'ordine dei cm/s che, combinata con l'osservazione che il fumo caldo sale verso l'alto e non si propaga orizzontalmente, porta comunque a dei tempi di ore in netto contrasto, con l'esperienza quotidiana. La ragione della discrepanza tra l'esperienza pratica e le due stime quantitative è che in entrambi i casi, si è trascurata la presenza della turbolenza. Le fluttuazioni di velocità indotte nel fluido dal moto turbolento, infatti, hanno la capacità di trasportare una quantità (scalare o vettoriale) molto rapidamente anche in assenza di moto medio. Ciò porta ad assimilare l'effetto della turbolenza con un notevole aumento della diffusività del fluido che arriva ad essere anche due o tre ordini di grandezza maggiore rispetto al valore molecolare. Un studio più attento dei fenomeni turbolenti mostra comunque che questo è solo l'effetto più visibile di una dinamica molto complessa che coinvolge principalmente i termini non lineari delle equazioni di Navier–Stokes.

Per fornire un altro esempio sugli effetti macroscopici della turbolenza consideriamo la portata di un fluido attraverso un tubo a sezione circolare di raggio  $R$  e lunghezza  $L$  per una data differenza di pressione  $\Delta p$ . In base alla soluzione laminare di Hagen–Poiseuille sarebbe sufficiente una differenza di pressione di un Pascal per ogni metro di lunghezza per avere in un tubo di raggio  $R = 0.5$  m una portata d'acqua di  $Q = 20$  m<sup>3</sup>/s. Questo risultato sovrastima in

modo molto grossolano la portata reale che risulta invece  $Q = 0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ . Il motivo di tale differenza è che il numero di Reynolds del flusso è  $Re = 3 \cdot 10^5$  ossia molto al di sopra del limite  $Re = 2100$  di validità della soluzione laminare. In tali condizioni, il flusso all'interno del condotto non può considerarsi né stazionario né tanto meno piano (ossia contenente la sola componente di velocità nella direzione della corrente) e le intense fluttuazioni di velocità "diffondono" la quantità di moto in modo molto efficiente comportando un apparente aumento degli sforzi viscosi.

Questo esperimento è stato descritto per la prima volta in modo sistematico da O. Reynolds nel 1883 il quale, conducendo degli esperimenti sul flusso all'interno di tubi a sezione circolare, osservò che combinando la velocità media del flusso  $U$ , il diametro del tubo  $d$  e la viscosità cinematica del fluido  $\nu$  nel fattore  $Ud/\nu$  (che in seguito prese il nome di numero di Reynolds) si poteva descrivere la dinamica del flusso in 3 categorie differenti. Per  $Re \leq 2100$  il flusso si manteneva stazionario e si comportava come se delle lamine rettilinee (da cui il termine flusso laminare) scorressero le une sulle altre interagendo solo attraverso degli sforzi tangenziali. Questo comportamento fu notato osservando l'evoluzione di una "streakline" di inchiostro rilasciata da una posizione fissa all'interno del condotto; la linea di colorante, infatti, si manteneva rettilinea diffondendo molto debolmente mentre si allontanava dalla sorgente.

Per  $2100 \leq Re \leq 4000$  la linea di colorante perde la sua stazionarietà e si propaga lungo una traiettoria ondulata con caratteristiche dipendenti dal tempo. In questo regime transizionale, tuttavia la traccia di colorante preservava la sua coerenza spaziale rimanendo confinata in una linea sottile.

Al contrario, per  $Re \geq 4000$ , dopo un tratto iniziale con oscillazioni di ampiezza crescente la traccia d'inchiostro veniva diffusa vigorosamente in tutta la sezione trasversale del tubo fino a distribuirsi omogeneamente in tutto il flusso.

Quest ultimo regime è detto turbolento ed è caratterizzato da un moto disordinato, completamente tridimensionale e non stazionario e da delle fluttuazioni di velocità con caratteristiche non deterministiche.

Un tipico esempio di segnale turbolento di velocità è mostrato in Figura 4-3 da cui si vede che la velocità oscilla intorno ad un valore medio senza alcuna frequenza specifica.

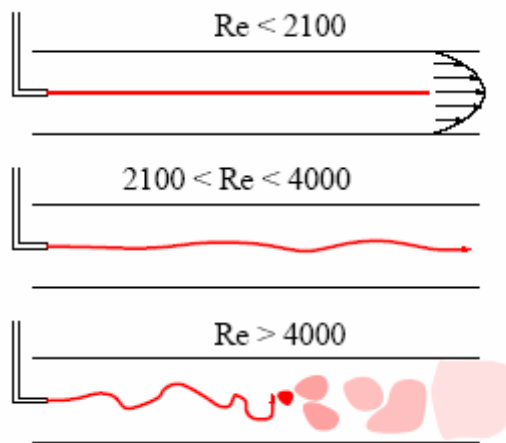


Figura 4-3: Disegno schematico dell'esperienza di Reynolds [24]

Un'altra caratteristica comune a tutti i flussi turbolenti è che se si ripete lo stesso esperimento e si misura la stessa quantità nello stesso punto per lo stesso intervallo temporale si ottengono dei segnali notevolmente differenti se confrontati istantaneamente mentre essi hanno le stesse caratteristiche statistiche (valore medio, deviazione standard, etc.). Le fluttuazioni delle quantità caratteristiche di un efflusso turbolento appartengono a diverse scale di grandezza, da pochi  $\mu\text{m}$  a decine di m, nel caso di efflussi come quello presentato in questo lavoro di tesi.

E' utile chiarire immediatamente che questa dinamica così complessa è interamente contenuta nelle equazioni di Navier–Stokes che sono in grado di descrivere il moto e l'interazione di tutte le scale di moto, fino alle più piccole e dissipative. Purtroppo dal punto di vista pratico, l'estremo dettaglio con cui queste equazioni descrivono il flusso costituisce al tempo stesso la debolezza del modello in quanto le risorse di calcolo necessarie per la risoluzione di queste equazioni crescono vertiginosamente con il numero di Reynolds (proporzionali a  $\text{Re}^3$ ). Se si considera che nei problemi pratici si ha  $\text{Re} = 10^6 - 10^9$  si capisce immediatamente che una soluzione del problema con un metodo 'diretto' di risoluzione delle equazioni di Navier-Stokes (DNS – Direct Numerical Simulation) è tecnicamente impossibile.

Per affrontare tale problematica sono stati concepiti dei metodi alternativi che permettono di trasformare tali equazioni in modo che le fluttuazioni delle turbolenze più piccole non siano direttamente simulate.

Tra questi metodi, quelli più importanti che hanno cioè riportato una certa funzionalità sono quelli che realizzano medie nel tempo e nello spazio (Reynolds averaged Navier-Stokes RANS) o sistemi di filtraggio (Large Eddy Simulation LES).

Entrambi i sistemi introducono termini addizionali che devono essere calcolati attraverso equazioni aggiuntive per continuare ad avere un sistema sempre ben definito.

Il risultato è quello di ottenere sì un numero maggiore di equazioni ma molto più semplici da risolvere numericamente.

Le equazioni RANS rappresentano solo le variazioni delle quantità medie, valutando in esse tutte le scale di turbolenza del campo di moto. Così facendo si riducono il numero delle equazioni e qualora il flusso medio è stazionario risulterà indipendente anche dal tempo avendo trascurato le mutue interazioni locali. Un notevole vantaggio si ha anche in moti non stazionari in quanto il passo temporale viene considerato solo nell'instabilità globale del fluido piuttosto che nelle singole turbolenze. Benché i flussi medi, in dipendenza dal tempo, possono essere modellati utilizzando la forma variabile RANS, la grande maggioranza dei campi di moto, compresi quelli intorno ai veicoli terrestri, può essere modellata con precisione utilizzando la forma stabile. Un altro vantaggio della simulazione stabile RANS è che il campo di flusso si avvicina sempre di più alla configurazione stabile man mano che le equazioni convergono. Inoltre una formulazione stabile agevola la costruzione delle maglie e permette di utilizzare metodi di soluzione per approssimazioni successive interpolando, tra di loro, le discretizzazioni, una volta noto l'andamento del flusso. Ciò permette di andare ad infittire le zone più critiche rispetto ai gradienti di pressione, con notevole vantaggio nella precisione. L'approccio RANS viene utilizzato nei calcoli di ingegneria in grande scala ed è appoggiato a modelli di turbolenza oramai consolidati.

Il LES si pone come via intermedia tra il DNS e il RANS andando a risolvere i vortici di maggiori dimensioni in maniera diretta e modellando quelli di minori dimensioni. Ciò avviene attraverso un filtraggio di equazioni che rimuove le turbolenze di minori dimensioni. Con tale metodo di procedere gli errori sono ridotti rispetto al RANS, ma il metodo LES tuttora oggi mostra problemi di giovinezza e la sua attendibilità non è ancora dimostrata a pieno. Se a tutto questo si aggiunge anche il fatto che esso necessita di una discretizzazione maggiore, con conseguente infittimento delle mesh, otteniamo che anche gli ultimi modellatori preferiscono restare sulle RANS.

Nessuno di questi modelli può essere universalmente accettato o applicato ad ogni classe di problemi. Il modello va dunque scelto di volta in volta in seguito a considerazioni specifiche sul caso in esame. Qualora non si disponesse di riscontri sperimentali, ci si deve basare su similitudini con altri modelli o scegliere in base in base al tempo ed alle macchine che si hanno a disposizione. Altri parametri che intervengono al momento della scelta del modello di turbolenza da utilizzare sono: la precisione e l'esigenza di voler studiare aspetti specifici dei vari problemi. Ad ogni modo tale scelta comporta la conoscenza approfondita dei vari modelli così da capirne le peculiarità e le limitazioni.

Nel presente lavoro di tesi si è utilizzato un modello di turbolenza di tipo LES e in particolare il modello a due equazioni k- $\epsilon$ . Il modello k- $\epsilon$  è il più semplice e completo per le turbolenze, è costruito in maniera semi-empirica e si basa su due equazioni del trasporto: quella dell'energia cinetica "k" e quella che rappresenta il suo tasso di dissipazione " $\epsilon$ ".

La prima delle due è ottenuta in forma esatta mentre la seconda in maniera empirica. Esse permettono la risoluzione indipendente della scala delle turbolenze e delle lunghezze. L'assunzione che è alla base di questo modello è la completa turbolenza del flusso che dovrà essere rispettata e verificata ai fini della validità della sua applicazione.

#### 4.2.9 *Fluido Multifase – multicomponente*

La formulazione matematica appena costruita vale, però, nel caso di un fluido monofase e monocomponente. Lo studio di onde generate da frane comprende però tre fasi, aeriforme, liquido e solido, e almeno tre componenti, aria, acqua e materiale di frana.

Allo stato attuale ci sono due approcci all'analisi computazionali di flussi multifase: l'approccio euleriano-lagrangiano (Euler-Lagrange Approach) e l'approccio euleriano-euleriano (Euler-Euler approach). Il primo risolve le equazioni di governo per la fase principale (generalmente quella aeriforme) e tratta in maniera discreta la fase secondaria ed è dunque adatto allo studio di particelle, bolle o gocce che si muovono all'interno del fluido principale (es. spray, getti di combustibile, flussi granulari ecc.).

Il secondo approccio, utilizzato nel presente lavoro di tesi, tratta le differenti fasi come "interpenetranti" e, partendo dall'assunzione che una generica porzione di volume può essere occupata da una sola fase, introduce il concetto di frazione di volume. Per ogni fase aggiuntiva alla principale si ha una frazione di volume, cioè una funzione continua nello spazio e nel tempo, incognita aggiuntiva del problema fluidodinamico. Le equazioni di governo scritte per il caso monofase e monocomponente valgono per tutte le fasi fluide; ad esse vanno aggiunte altre equazioni per la "chiusura" del problema, cioè tante equazioni quante sono le fasi aggiuntive.

I tre modelli principali basati sull'approccio euleriano-euleriano sono il *volume of fluid* (VOF), il *mixture model* e il modello euleriano. Il modello *mixture* prevede la possibilità di miscelamento fra fasi e fluidi diversi ed è adatto a problemi di sedimentazione ed ebollizione. Il modello euleriano è il modello più complesso dei tre e risolve un set di equazioni di conservazione per ogni fase. L'accoppiamento si realizza attraverso la pressione come funzione di stato comune e coefficienti di scambio di massa. Il modello VOF, infine, è quello che meglio si adatta al problema della generazione delle onde, dato che, come sarà meglio illustrato nel



seguito, è orientato a problemi di tracciamento dell'interfaccia fra fluidi e fasi diverse e allo studio di flussi a pelo libero e flussi con fluidi stratificati.

#### 4.2.10 Modello VOF (Volume of Fluid)

La formulazione del modello matematico VOF [9] è basata sull'ipotesi che le diverse fasi non siano miscibili e che soltanto una di esse sia comprimibile (fase primaria). Per ogni fase aggiuntiva alla principale, che nel nostro caso è l'aria, si introduce una variabile, la frazione di volume della fase. Nel generico volume di controllo, la somma delle frazioni di volume di tutte le fasi è pari a 1. Le altre proprietà termo-fluidodinamiche sono comuni a tutte le fasi come valori medi: la media volumetrica della generica proprietà può essere calcolata una volta note le frazioni di volume di tutte le fasi. In altre parole facendo riferimento ad un generico volume di controllo, se la frazione di volume della q-esima fase è indicato con  $\alpha_q$ , si possono avere le seguenti casi:

$\alpha_q = 0$  : la cella non contiene la fase q-esima;

$\alpha_q = 1$  : la cella è completamente riempita dalla fase q-esima;

$0 < \alpha_q < 1$  : la cella è parzialmente riempita dalla fase q-esima e contiene l'interfaccia fra la fase q-esima e le altre fasi presenti.

Il tracciamento delle interfacce fra fasi diverse e quindi la chiusura del modello matematico sono realizzate attraverso l'equazione del trasporto delle frazioni di volume, che per la q-esima fase ha la forma seguente:

$$Eq. 4-21 \quad \frac{\partial \rho \alpha_q}{\partial t} + \bar{V} (\rho \alpha_q \bar{V}_q) = S_{\alpha_q}$$

dove  $S_{\alpha_q}$  è il termine sorgente, che contiene anche l'eventuale trasferimento di massa fra le fasi.

L'equazione Eq. 4-21 viene risolta per tutte le fasi tranne quella primaria. L'ultima equazione del modello matematico per un flusso multifase è data dalla conservazione della massa, in base alla quale la somma delle frazioni di volume delle diverse fasi nel generico volume di controllo è pari all'unità:

$$Eq. 4-22 \quad \sum_{q=1}^N \alpha_q = 1$$

Come detto in precedenza le alter proprietà vengono determinate con medie volumetriche:

$$\text{Eq. 4-23} \quad \text{densità} \sum_{q=1}^N \rho_q \alpha_q = \rho ;$$

$$\text{Eq. 4-24} \quad \text{viscosità} \sum_{q=1}^N \mu_q \alpha_q = \mu \quad \text{Eq. 4-25.}$$

Per quanto riguarda la conservazione della quantità di moto, un singolo set di equazioni di Navier-Stokes viene risolto nel dominio computazionale. Un tale approccio tende a perdere accuratezza, soprattutto nella zona di interfaccia, quando esistono grandi differenze di velocità tra le fasi.

#### 4.2.11 Relazioni costitutive

Nelle equazioni di bilancio compaiono proprietà termodinamiche quali viscosità, conducibilità, calore specifico, ecc. che in generale non sono costanti, ma sono funzione della pressione, della temperatura e, in alcuni casi, della composizione del fluido. Il modello presente utilizza opportune equazioni costitutive che forniscano relazioni che legano queste proprietà termodinamiche alle variabili dipendenti.

#### 4.2.12 Forma generale dell'equazione di bilancio

Problemi fisici che coinvolgono il flusso dei fluidi ed il trasferimento di massa e di calore sono governati dai principi di conservazione della massa, della quantità di moto, dell'energia, delle specie chimiche, ecc.. I principi di conservazione sono matematicamente espressi in termini di equazioni differenziali parziali che possono essere scritte in coordinate cartesiane nella seguente forma generale (detta equazione della convezione-diffusione).

Eq. 4-26

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi)}_a + \underbrace{\frac{\partial}{\partial x}(\rho u\phi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v\phi) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w\phi)}_b = \underbrace{\frac{\partial}{\partial x}\left(\Gamma_\phi \frac{\partial\phi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\Gamma_\phi \frac{\partial\phi}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\Gamma_\phi \frac{\partial\phi}{\partial z}\right)}_c + \underbrace{S_\phi}_d$$

dove :

- a: termine non stazionario;
- b: termini convettivi;

- c: termini diffusivi;
- d: termine di sorgente

e dove  $\phi$  rappresenta la grandezza scalare che è trasferita dal fluido in movimento con velocità  $(u,v,w)$ , densità  $\rho$  e coefficiente di diffusione  $\Gamma$ . La variabile dipendente  $\phi$  può avere il significato di componente della velocità, di energia cinetica turbolenta (o di una scala della turbolenza), di entalpia (o di temperatura), di frazione massica di una specie chimica, ecc.. Il termine  $S_\phi$  rappresenta, invece, il rateo di generazione (o di distruzione) di  $\phi$  nell'unità di volume.

I termini presenti nell'equazione differenziale generale precedente sono detti, nell'ordine, termine non stazionario, termini convettivi, termini diffusivi e termine di sorgente. Tutto ciò che in un'equazione di bilancio non può essere fatto rientrare come termine convettivo o diffusivo viene generalmente inserito all'interno del termine di sorgente. Fanno eccezione a questa regola le equazioni della quantità di moto. Infatti, in questo caso il termine in cui compare la pressione non viene inserito all'interno del termine di sorgente in quanto la pressione, così come la velocità, è una vera e propria variabile dipendente.

#### 4.2.13 Condizioni iniziali ed al contorno

Una delle principali difficoltà nella risoluzione numerica di problemi di flusso di fluidi è il trattamento delle condizioni iniziali ed al contorno. Per un dato gruppo di equazioni devono essere definite condizioni appropriate alla natura fisica del problema al fine di ottenere un modello matematico ben posto, caratterizzato da una soluzione continua.

Le condizioni iniziali possono scriversi:

$$\text{Eq. 4-27} \quad \phi(\vec{r}, t = 0) = \phi_0(\vec{r}) \quad \forall \vec{r} \in V$$

Un modo conciso per definire le condizioni sul contorno  $S$  è quello di imporre la seguente condizione generale

$$\text{Eq. 4-28} \quad A\phi + B \frac{\partial \phi}{\partial n} = C \quad \forall \vec{r} \in S$$

dove con  $n$  si è indicata la direzione normale al contorno. Scegliendo  $A=1$  e  $B=0$  si ottengono le condizioni di Dirichlet (o di prima specie), in cui vengono specificati i valori scalari di sul contorno; scegliendo  $A=0$  e  $B=1$  si ottengono le condizioni di Neumann (o di seconda specie), in cui vengono specificati i valori dei flussi diffusivi sul contorno.

I contorni di un dominio di calcolo sono normalmente di tre tipi: contorni senza passaggio di fluido, contorni con flusso entrante di fluido (inflow boundaries) e contorni con flusso uscente di fluido (outflow boundaries). Normalmente i flussi convettivi sono assegnati agli inflow boundaries, sono posti uguali a zero nei contorni impermeabili al passaggio di fluido e sono considerati indipendenti dalla coordinata normale negli outflow boundaries. I flussi diffusivi vengono invece specificati sulle pareti.

Per quelle parti del contorno dove il fluido entra nel dominio devono essere assegnati tutti i valori di  $\phi$  all'ingresso, eccetto la pressione nel caso di flussi subsonici. Poiché la velocità e tutte le altre variabili sono date possono essere calcolati tutti i flussi convettivi. I flussi diffusivi non sono noti in ingresso, ma vengono posti uguale a zero od opportunamente approssimati.

Per le parti del contorno dove il fluido lascia il dominio normalmente non sono conosciuti né i valori di  $\phi$  né i valori dei flussi diffusivi. Generalmente per flussi subsonici e per grandi numeri di Peclet le regioni vicino alle uscite esibiscono un comportamento "oneway"; in tal caso, essendo il comportamento locale governato principalmente dalla convezione, i punti al contorno localizzati a valle del dominio di calcolo non influenzano la soluzione. Negli "outflow boundary" una possibilità è quella di imporre che tutte le derivate nella direzione della corrente sia zero:

$$\text{Eq. 4-29} \quad \frac{\partial \phi}{\partial n} = 0 \quad \forall \vec{r} \in S_{\text{out}}$$

Questa condizione viene spesso usata in flussi stazionari ma non è soddisfacente in flussi non stazionari. In quest'ultimo caso è meglio rimpiazzare questa condizione con una condizione convettiva non stazionaria del tipo:

$$\text{Eq. 4-30} \quad \frac{\partial \phi}{\partial t} + u_n \frac{\partial \phi}{\partial n} = 0 \quad \forall \vec{r} \in S_{\text{out}}$$

dove  $u_n$  è una velocità che è indipendente dalla posizione sulla superficie di uscita, scelta in modo che sia soddisfatta la conservazione globale di massa.

Per un contorno in cui non si ha né ingresso né uscita di fluido, il flusso convettivo è zero per definizione. In questo caso possono essere assegnati condizioni di prima o di seconda specie per  $\phi$ .

Le condizioni al contorno per la pressione richiedono particolare attenzione. Normalmente l'equazione della pressione necessita di condizioni al contorno su tutti i contorni:

$$\text{Eq. 4-31} \quad \frac{\partial p}{\partial n} = 0 \quad \forall \vec{r} \in S$$

Per rendere la soluzione unica, la pressione deve però essere fissata in un punto.

### **4.3 SCHEMA NUMERICO**

Il sistema di equazioni differenziali che costituisce il modello matematico è fortemente non lineare e accoppiato e non è dunque risolvibile analiticamente, a meno di esemplificazioni del modello. La risoluzione può essere effettuata quindi solo numericamente a valle di un processo di discretizzazione dei domini spaziale e temporale. I tre approcci comunemente utilizzati per discretizzare un sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali sono:

- Metodo alle differenze finite (Finite Difference Method (FDM)) [16];
- Metodo ai volumi finiti (Finite Volumes Method (FVM)) [11] [18];
- Metodo agli elementi finiti (Finite Elements Method (FEM)) [20] [25] [2];

ognuno dei quali permette di trasformare il problema continuo in un problema discreto con un numero finito di gradi di libertà. Le tre procedure risultano equivalenti per elevata discretizzazione del dominio di calcolo, ovvero per griglie molto fini, tuttavia al variare del problema fisico considerato alcuni metodi risultano migliori di altri da un punto di vista di velocità e convergenza di calcolo.

L'idea di base del metodo alle differenze finite è quella di sostituire i termini differenziali con differenze finite in un set discreto di punti, che sono i nodi costituenti la griglia di calcolo.

In entrambi i metodi ai volumi finiti e agli elementi finiti il dominio spaziale è suddiviso in un numero finito di sottodomini (elementi o volumi) e l'attenzione è concentrata nei sottodomini piuttosto che nei nodi (come avviene con il FDM). Nel caso dei metodi FVM e FEM, quindi, è determinante il concetto di flusso e la forma integrale delle equazioni di governo è quella che meglio si addice ad essi. L'integrazione del termine convettivo di un equazione di conservazione in un volume finito porta infatti al flusso della variabile generica attraverso la superficie delimitante il volume, applicando il teorema di Gauss. La differenza principale fra FEM e FVM è che nel primo si assume una funzione tipo che definisce la variazione delle grandezze fondamentali all'interno del sottodominio mentre nel secondo questa funzione è identicamente uguale a 1. In fluidodinamica lo schema numerico più diffuso è quello ai volumi finiti, mentre i modelli agli elementi finiti sono molto utilizzati nella modellizzazione strutturale.

Una proprietà importante dei metodi FVM e FEM rispetto alle differenze finite è la possibilità di utilizzare griglie con geometrie arbitrarie, usando mesh strutturate, non strutturate e miste.

Come appena visto, indipendentemente dal metodo di discretizzazione spaziale scelto, il dominio dove le equazioni del modello matematico sono applicate è discretizzato in una griglia costituita da nodi ed elementi, in corrispondenza dei quali sono definite le variabili del problema (densità, pressione, temperatura, velocità, frazione in massa). I punti vicini sono utilizzati per il calcolo delle derivate. Un ruolo fondamentale nella modellizzazione numerica è dunque giocato dalla costruzione della griglia di calcolo, che è un processo complesso e molto costoso sia in termini computazionali che in termini di tempo.

#### 4.3.1 Schema ai volumi finiti

In questo lavoro di tesi si è utilizzato un codice di calcolo fluidodinamico, FLUENT®, che discretizza le equazioni del modello matematico secondo lo schema ai volumi finiti.

Il metodo dei residui pesati.

Il metodo dei residui pesati, descritto in dettaglio da Finlayson [12], sta alla base del metodo di risoluzione ai volumi finiti. Rappresentiamo un'equazione di differenziale nel seguente modo:

$$\text{Eq. 4-32} \quad L(\Phi)=0$$

Approssimiamo la soluzione  $\Phi$  con un polinomio  $\bar{\Phi}$ :

$$\text{Eq. 4-33} \quad \bar{\Phi} = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_m x^m$$

dove  $a_i$  sono dei parametri incogniti. La sostituzione della  $\bar{\Phi}$  nella Eq. 4-32 produce un residuo  $R$ , definito da:

$$\text{Eq. 4-34} \quad R = L(\bar{\Phi})$$

Per ottenere la soluzione si deve minimizzare il residuo, introducendo l'integrale:

$$\text{Eq. 4-35} \quad \int W_i R dx = 0$$

dove  $W_i$  è una funzione peso ed i limiti di integrazione sono definiti dal dominio di interesse.

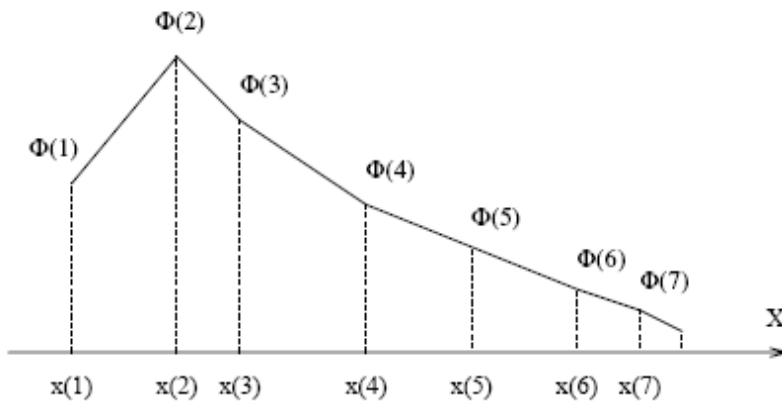


Figura 4-4 Funzione lineare a tratti  $\bar{\Phi}$  approssimante la soluzione  $\Phi$ .

Risolvendo l'integrale (Eq. 4-35) con  $m + 1$  funzioni peso differenti si ottengono il numero necessario di condizioni sufficienti per determinare gli  $m+1$  parametri incogniti ( $a_i$ ). Esistono molte versioni del metodo che però si differenziano sostanzialmente solo per la scelta di opportune famiglie di funzioni peso.

Invece di considerare come approssimazione della  $\Phi$  un polinomio con i coefficienti incogniti, prendiamo come parametri i valori della  $\Phi$  in alcuni punti e consideriamo come  $\bar{\Phi}$  la funzione a tratti che ne deriva (Figura 4-4). Consideriamo una sezione del dominio di integrazione ottenendo dei sottoinsiemi,  $i$  che chiameremo celle (esempio in Figura 4-5 ). Applichiamo il metodo dei Residui Pesati, scegliendo come funzioni peso una particolare famiglia di funzioni:

Eq. 4-36 
$$W_i(x) = \begin{cases} 1 \rightarrow x \in \omega_i \\ 0 \rightarrow \text{altrove} \end{cases}$$

Eq. 4-37 
$$\int L(\bar{\Phi})dx = 0$$

Questa variante del Metodo dei Residui Pesati viene anche detta Metodo ai Volumi Finiti [11] [18].

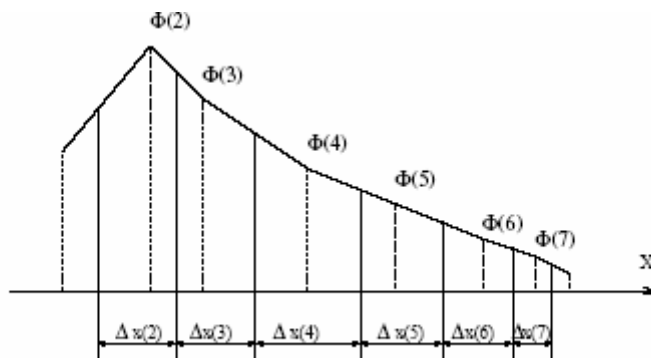


Figura 4-5: Esempio di scomposizione di un dominio in celle di grandezza  $\Delta x_i$

### Il metodo dei volumi finiti

Il metodo ai volumi finiti per la discretizzazione delle equazioni differenziali può essere schematizzato secondo i seguenti punti:

1. Comporre la griglia (grid o mesh) dei punti per quali si vuole determinare la soluzione approssimata.
2. Suddividere il dominio originale in tante celle disgiunte (volumi di controllo). Ciascuna cella contiene al suo interno un nodo della griglia.
3. Integrare l'equazione differenziale su ogni volume di controllo.
4. Utilizzare la  $\bar{\Phi}$  (funzione a tratti) per valutare la variazione della  $\Phi$  tra i punti della griglia. L'ordine di approssimazione ovviamente dipende dalla funzione a tratti scelta.

L'operazione che si è fatta, cioè integrare un'equazione differenziale per poi discretizzarla assomiglia molto, come dice il Patankar [15], a "voler preparare le patatine fritte partendo dal purè". In realtà l'approccio classico per la descrizione di molti problemi fisici, come quelli termofluidodinamici, parte dal volume di controllo finito. Su di questo vengono applicati i principi di conservazione, ad esempio quelli ottenuti dalla termodinamica classica per sistemi aperti, si ottengono così le equazioni in forma integrale. Solo l'introduzione del passaggio al limite trasforma poi l'equazione integrale in quella differenziale.

L'equazione discreta ottenuta con il metodo dei volumi finiti mantiene quindi il carattere di conservatività della grandezza interessata sul volume di controllo finito, così come l'equazione differenziale lo mantiene per il volume infinitesimo. E' senz'altro questa la caratteristica (ed il vantaggio rispetto ad altre tecniche) più saliente del metodo dei Volumi Finiti.

Ricordiamo che la proprietà di conservatività integrale delle grandezze come massa, quantità di moto ed energia, permane tale per ogni sottoinsieme di celle e per qualsiasi numero di celle, anche se questo diviene molto basso (cioè la griglia si dirada di molto). Questa ultima proprietà non è assolutamente vera per altre tecniche come le differenze finite per le quali la conservatività globale non è garantita.

Nel metodo ai volumi finiti la derivazione delle equazioni discretizzate è basata su una formulazione conservativa nella quale le equazioni differenziali sono integrate su ciascun volume di controllo. Nel caso di una generica griglia tridimensionale divisa in un certo numero di sottodomini l'integrazione della generica equazione di bilancio relativa alla variabile  $\phi$  sul generico volume di controllo  $\Omega$  porta alla seguente equazione:



$$Eq. 4-38 \quad \frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \rho \phi dW + \int_S \rho \phi \vec{v} n dS = \int_{S'} \Gamma_{\phi} \vec{\nabla} \phi n dS + \int_{\Omega} S_{\phi} dW$$

dove l'applicazione del teorema della divergenza converte l'integrale dei termini convettivi e diffusivi in *flussi* attraverso la superficie S di contorno del volume di controllo. Passando dal continuo al discreto si ottiene:

$$Eq. 4-39 \quad \frac{\partial}{\partial t} (\rho \phi W) + \sum_f^{N_{facce}} \rho_f \phi_f \vec{v}_f \cdot \vec{n} S_f = \sum_f^{N_{facce}} \Gamma_{\phi} \vec{\nabla} \phi_f \cdot \vec{n} S_f + S_{\phi} W$$

dove W è il volume totale del volume di controllo  $\Omega$  e  $N_{facce}$  è il numero di facce che racchiudono il volume di controllo. La tecnica con cui si calcola  $\phi_f$  caratterizza lo schema usato, di cui alcuni esempi sono upwind, power-law, QUICK, alle differenze centrate, per i quali si rimanda alla letteratura specializzata [1] [6] [13] [10].

A seconda che i volumi di controllo coincidano con i sottodomini della griglia o siano costruiti intorno ai nodi il metodo si dice *cell-centred* o *node-centred* (Figura 4-6). Il codice di calcolo FLUENT utilizza il primo di tali metodi.

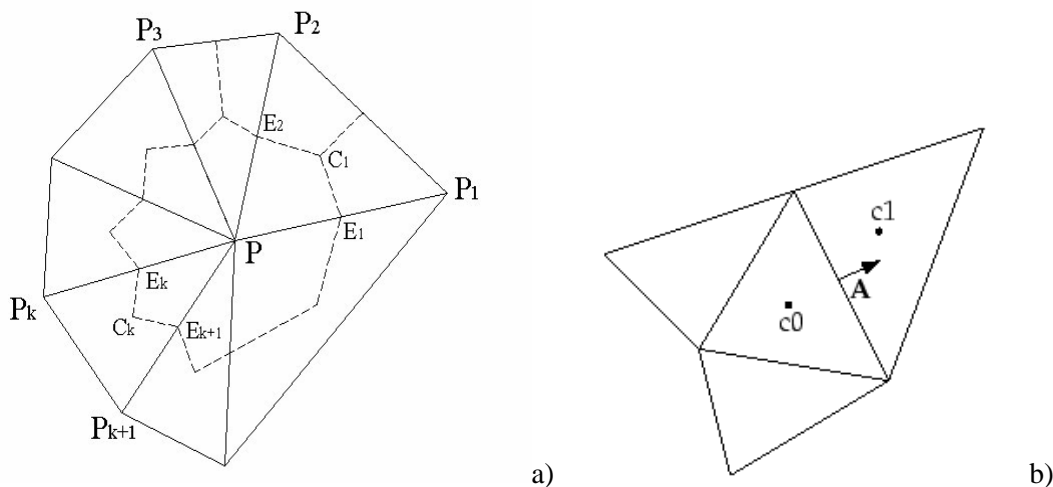


Figura 4-6: a) node-centred: il volume di controllo in linea tratteggiata è costruito intorno al nodo; b) cell-centred: il volume di controllo coincide con l'elemento.

### 4.3.2 Griglie di calcolo

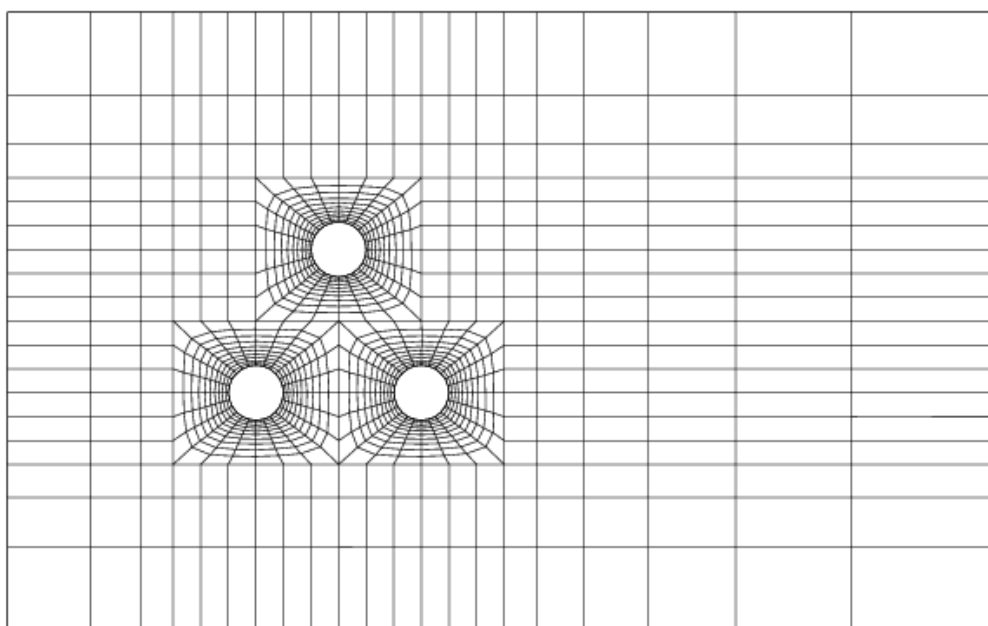
Definito il modello matematico, come già detto, occorre discretizzare lo spazio, suddividendolo in un numero arbitrario di celle non sovrapposte le une alle altre, all'interno delle quali, ad ogni iterazione, vengono calcolati i valori delle variabili incognite. Si definisce quindi la griglia di calcolo o mesh.

E' evidente che una maggiore discretizzazione, ovvero un maggior numero di celle, garantisce una maggiore accuratezza del calcolo, ma significa anche tempi di elaborazione più lunghi. Una corretta definizione del dominio di calcolo è perciò il primo passo necessario per la buona riuscita di una simulazione: una griglia troppo rada può portare ad approssimazioni troppo spinte di gradienti elevati, oppure griglie troppo fini possono portare a problemi numerici di convergenza.

E' quindi necessario un compromesso per sfruttare con efficacia le risorse computazionali, inoltre, un'analisi di sensitività al variare del dominio di calcolo può fornire importanti indicazioni: il risultato della simulazione deve infatti essere indipendente dal grado di discretizzazione.

Prima di tutto le griglie di calcolo sono distinte secondo due grandi classi, strutturate e non strutturate, e ognuna di esse comprende un gran numero di sottoclassi e di tecniche di discretizzazione diverse.

La griglia strutturata più semplice è la griglia cartesiana, nella quale i nodi sono distribuiti regolarmente alla stessa distanza l'uno dall'altro. Il metodo alle differenze finite è applicato a griglie strutturate cartesiane. Più generalmente, una griglia è classificata come strutturata quando le sole coordinate dei nodi permettono di ricostruire la griglia e le connessioni nodo-nodo (per ogni nodo sono noti tutti i vicini). Molto utilizzate sono le griglie strutturate multi-blocco (Figura 4-7), costituite da più griglie strutturate, ognuna con una numerazione dei nodi distinta. Il vantaggio maggiore delle griglie strutturate è la semplicità sia in fase di discretizzazione che di visualizzazione dei risultati. La connettività nota implicitamente implica che le griglie strutturate a parità di numero di nodi richiedono una quantità di memoria computazionale molto inferiore. Le griglie strutturate sono però particolarmente limitate nel caso di problemi con geometria complessa, quando c'è la necessità di un'alta risoluzione in particolari regioni del dominio spaziale.



*Figura 4-7: Esempio di griglia strutturata multiblocco [8].*

In una griglia non strutturata ogni nodo può avere un numero diverso di nodi vicini e gli elementi possono avere forme e dimensioni differenti (Figura 4-8). La connettività dunque deve essere esplicitamente definita: non basta conoscere le coordinate dei nodi per definire una griglia non strutturata ma occorre sapere anche per ogni nodo i nodi vicini ad esso collegati. Le richieste di memoria computazionali sono superiori a parità di numero di nodi, ma la definizione di geometrie complesse è più facilmente realizzabile e a parità di accuratezza locale nei punti di maggiore interesse, le griglie non strutturate richiedono un numero di nodi inferiore alle griglie strutturate. La realizzazione della griglia, inoltre, è molto più rapida e gli enormi sviluppi tecnologici hanno permesso l'applicazione di tecniche autoadattative di raffinazione della griglia.

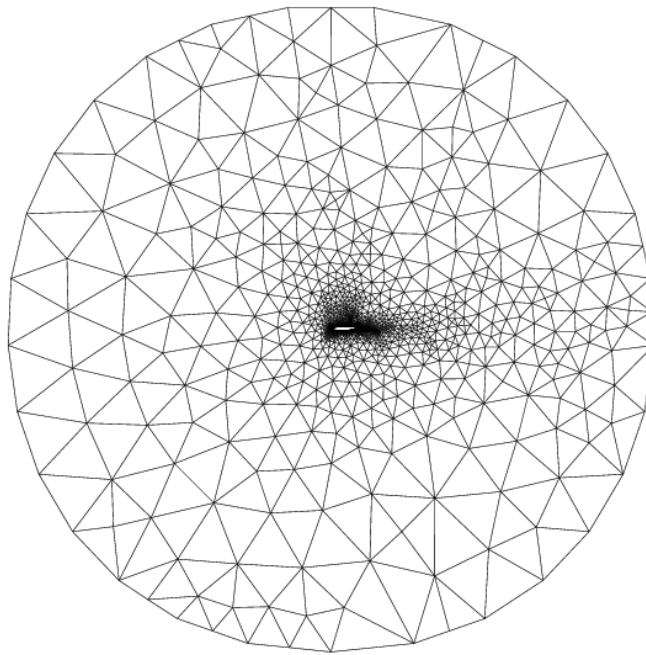


Figura 4-8: Esempio di griglia non strutturata [8]

Una descrizione dettagliata delle tecniche di generazione delle griglie computazionali, che va al di fuori degli obiettivi del presente lavoro, può essere reperita in [14] [19] [21] [22]. E' comunque importante concludere questa trattazione sottolineando che l'accuratezza e la stabilità del calcolo sono significativamente influenzate dalla scelta del tipo di griglia di calcolo e dalla sua costruzione.

In questo lavoro di tesi sono state utilizzate griglie non strutturate realizzate attraverso il software GAMBIT [8], studiato per la costruzione, l'adattamento e la discretizzazione dei domini computazionali. Una particolarità molto significativa di tale software è quella della costruzione dei disegni per livelli successivi. Ad eccezioni di figure elementari la procedura da seguire è :

PUNTI → LINEE → SUPERFICI → VOLUMI

Tale modo di procedere, nonostante richieda più tempo di intervento umano, permette la costruzione e la gestione di forme molto complesse, assolutamente necessario per il tipo di analisi che stiamo facendo.

Il preprocessore GAMBIT permette di lavorare sulle geometrie attraverso tre entità topologiche diverse : reale, virtuale, levigata.

L'entità reali, sono quelle che posseggono una propria descrizione mediante equazioni matematiche che gli assegnano posizione e forma.

Quelle virtuali, non hanno questo tipo di descrizione e derivano la loro geometria da relazioni tra una o più entità reali.

Le levigate hanno la stessa definizione di quelle virtuali solo che fanno riferimento agli elementi di discretizzazione.

La diversa natura delle tre entità accennate porta a diverse possibilità di intervento sul modello che si ha in esame.

Basti pensare che geometrie reali possono essere combinate solo con geometrie reali e qualora una di loro si combina con una geometria virtuale anche le altre (con le quali sussistevano delle relazioni) diventano virtuali, con conseguente perdita di informazioni.

Nelle geometrie reali, è possibile generare vertici in punti stabiliti dai quali ottenere linee, facce e volumi come combinazioni tra di essi. Si possono generare inoltre volumi come prismi, cilindri partendo dalla definizione delle primitive ed integrarli perfettamente nel contesto del lavoro che si sta effettuando.

Le geometrie reali sono soggette a tutti i limiti che caratterizzano i moderni modellatori come ad esempio l'impossibilità di ottenere facce con più di quattro lati, se non complanari.

Le possibilità di intervento che GAMBIT offre, con geometrie reali, possono essere riassunte in:

- dividere le linee le facce ed i volumi in più entità indipendenti;
- utilizzare operazioni booleane;
- intervenire sulle definizioni delle linee o dei punti appartenenti a geometrie di ordine superiore quali superfici o volumi.

Usando, invece, geometrie virtuali si è sottoposti a delle limitazioni:

- i vertici virtuali possono essere definiti solo come estremi di linee e facce reali;
- le superfici ed i volumi possono essere costruiti solo da entità reali già esistenti e quindi non dispongono di nessuna possibilità di costruzione attraverso primitive (non fanno riferimento a nessuna equazione matematica).

Il vantaggio di lavorare con geometrie virtuali sta nel fatto che si possono costruire e manipolare elementi con maggiore flessibilità senza far riferimento a nessun tipo di geometria.

Una cosa che distingue GAMBIT dagli altri modellatori è la perfetta integrabilità con FLUENT sia per la geometria che per la discretizzazione e la definizione preliminare delle condizioni al contorno.

Particolarmente efficiente in questo preprocessore è la costruzione della mesh, strutturata e non, ed il suo controllo in quanto dispone di una notevole varietà di elementi indirizzati allo studio CFD.

Tali elementi (Figura 4-9) possono essere riassunti in:

- triangoli; per le superfici in quanto permettono una bassa “skewness” mantenendo fedelmente le curvature originali. Tali elementi aumentano leggermente i tempi di calcolo perchè non possono essere indirizzati facilmente nelle direzioni ortogonali al fluido
- prismi; usati soprattutto nelle zone vicine alle superfici poiché possono essere stratificati e quindi adattati al comportamento del fluido in viscoso in prossimità della superficie
- esaedri; si prestano molto bene alla simulazione dell’effetto suolo, si adattano molto bene ad un’ottima parzializzazione consentendo un disinfittimento molto mirato e gestibile
- tetraedri; possono essere usati per un disinfittimento della mesh per la loro caratteristica di essere completamente non strutturata.

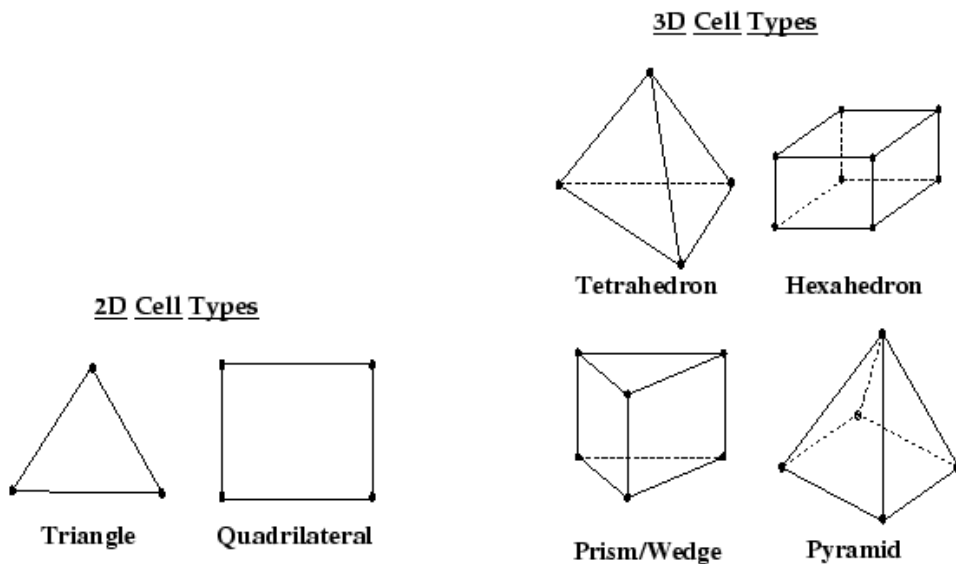


Figura 4-9: Tipici sottodomini di una griglia di calcolo [7]

Realizzare una valida discretizzazione del dominio spaziale porta ad una buona corrispondenza del disegno ed ad una rapida convergenza. Come riferimento sono definiti diversi parametri per vedere la qualità di una mesh non strutturata:

- Skewness: tale parametro è dato dalla differenza tra la forma della cella costruita, e la forma che essa avrebbe se si realizzasse con tutti i lati uguali, mantenendo sempre lo stesso volume. Di norma è consigliato mantenere uno skewness minore di 0.8 per la maggior parte degli elementi.
- Levigatezza: tiene conto dei rapidi cambiamenti tra celle adiacenti, che portano a delle grosse variazioni delle equazioni con conseguenti grandi errori di troncamento. Cioè grosse differenze tra le derivate parziali dell'equazione che si sta considerando e la loro approssimazione discreta.
- Relazione larghezza altezza: è la misura dello stiramento della cella che è sempre bene avere intorno a 5-1 tranne internamente allo strato limite.

#### 4.3.3 *Discretizzazione temporale*

Nel caso di problemi dinamici non stazionari (come il problema della generazione e propagazione di onde), anche a valle della discretizzazione spaziale, rimane da risolvere un sistema di equazioni differenziali nel tempo. Occorre dunque definire la discretizzazione temporale, generalmente realizzata con un'approssimazione alle differenze finite con step temporale costante o variabile lungo il calcolo. A seconda dell'istante temporale in cui si considera l'informazione per il calcolo delle funzioni, la discretizzazione temporale porta a:

- schema esplicito, quando la soluzione al tempo  $n+1$  dipende solo dalla soluzione (nota) al tempo  $n$  (time-marching solution);
- schema implicito, quando la discretizzazione temporale porta ad un sistema di equazioni implicito da risolvere per calcolare la soluzione al tempo  $n+1$ .

#### 4.3.4 *Schema VOF nel codice di calcolo CFD*

Il codice di calcolo FLUENT ha quattro schemi per il calcolo dei flussi nel modello VOF: *geometric reconstruction, donor-acceptor, Euler explicit, and implicit*.

Lo schema “geometric reconstruction”, utilizzato in questo lavoro di tesi, prevede un'interpolazione per le celle che giacciono vicino all'interfacci fra due fluidi o fasi eliminando il problema di avere un profilo scalettato all'interfaccia (Figura 4-10).

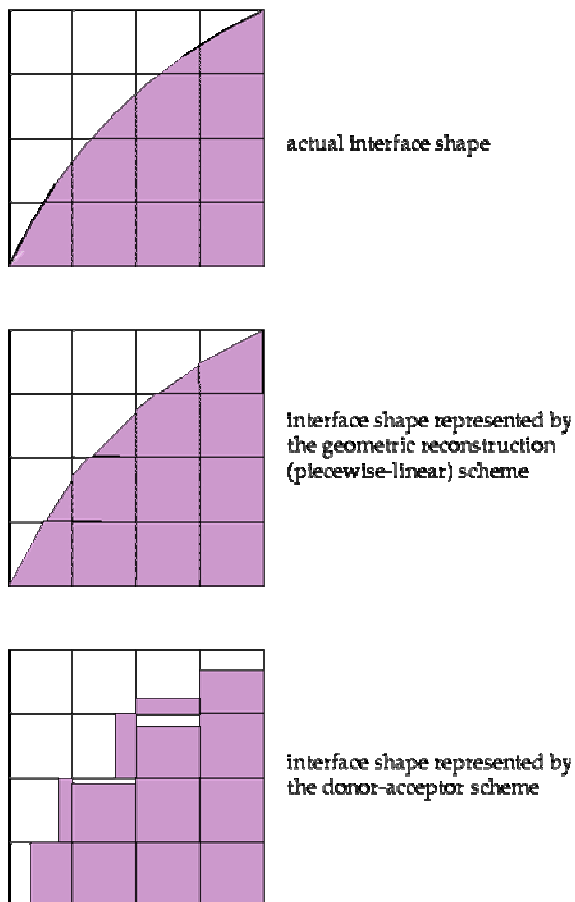


Figura 4-10: Ricostruzione del profile dell'interfaccia fra due fasi con il metodo geometric reconstruction [7]

L'applicazione dello schema geometric reconstruction a griglie non strutturate è realizzata attraverso il metodo proposto da Youngs [13], che assume che l'interfaccia fra due fasi ha una pendenza lineare all'interno della cella (Figura 4-10).

La formulazione VOF può considerare gli effetti della tensione superficiale lungo l'interfaccia fra ogni coppia di fasi. Nel modello infatti è possibile inserire un valore (costante o variabile) per la tensione superficiale. In questo studio è stato considerato un coefficiente costante dato che i flussi studiati possono essere considerati isotermini.

La tensione superficiale si presenta come il risultato delle forze di attrazione fra le molecole all'interno di un fluido. Essa agisce soltanto sulla superficie ed è richiesta per mantenere l'equilibrio in ogni istante e nella zona di separazione tra i due fluidi agisce in modo da minimizzare l'energia libera, diminuendo in tal modo l'estensione superficiale dell'interfaccia.

Nel codice di calcolo utilizzato è implementato il modello continuo di forza di superficie ("continuum surface force" CSF). Con questo modello la tensione superficiale è considerata



come un termine di sorgente nell'equazione di conservazione della quantità di moto, presente solo all'interfaccia tra i fluidi. Se si considera il caso di tensione superficiale uniforme sulla superficie, si ha una distribuzione di azioni perpendicolari alla stessa. In questo caso il salto di pressione attraverso l'interfaccia dipende dal coefficiente di tensione superficiale  $\sigma$  e la curvatura superficiale è misurata da due raggi fra loro ortogonali  $R_1$  e  $R_2$ :

$$Eq. 4-40 \quad p_1 - p_2 = \sigma \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right).$$

dove  $p_1$  and  $p_2$  sono le pressioni nei due fluidi a contatto con l'interfaccia

La formulazione CFS calcola la curvatura della superficie attraverso i gradienti locali sulla superficie perpendicolari all'interfaccia. Se con  $\vec{n}$  si indica il vettore ortogonale alla superficie, definito come il gradiente della frazione di volume della q-esima fase,  $\alpha_q$ , si ha:

$$Eq. 4-41 \quad \vec{n} = \vec{\nabla} \alpha_q$$

e per la curvatura  $\kappa$ [4]:

$$Eq. 4-42 \quad \kappa = \nabla \hat{n} = \nabla \frac{\vec{n}}{|\vec{n}|}$$

La tensione superficiale è calcolata come salto di pressione attraverso la superficie e, mediante il teorema della divergenza, come una forza di volume sulla superficie. E' proprio questa forza di volume che rappresenta il termine di sorgente aggiunto all'equazione di conservazione della quantità di moto, il cui valore è dato dalla formula seguente:

$$Eq. 4-43 \quad F_{vol} = \sum_{ij, i < j} 2\sigma_{ij} \frac{\alpha_i \rho_i \kappa_j \nabla \alpha_j + \alpha_j \rho_j \kappa_i \nabla \alpha_i}{\rho_i + \rho_j}$$

L'espressione riportata è valida sempre, anche nel caso in cui le fasi siano più di due. Ma nel caso di due fluidi l'equazione si semplifica diventando:

$$Eq. 4-44 \quad F_{vol} = \sum_{ij, i < j} 2\sigma_{ij} \frac{\rho \kappa_i \nabla \alpha_i}{\rho_i + \rho_j}$$

dove  $\rho$  è la densità della miscela. L'Eq. 4-44 mostra come il termine sorgente della tensione superficiale per ogni cella sia proporzionale alla densità media in quella cella.

#### 4.3.5 Algoritmi di risoluzione

L'algoritmo di risoluzione numerica è lo schema iterativo seguito dal codice per giungere alla soluzione del problema a partire da delle condizioni iniziali.

L'equazione della convezione-diffusione scritta in forma discretizzata è nominalmente un'equazione lineare. In realtà i coefficienti dell'equazione discretizzata dipendono di solito dalla variabile dipendente relativa a quella particolare equazione ed, alcune volte, anche dalle altre variabili dipendenti relative alle restanti equazioni. Per tener conto dei legami esistenti tra le varie equazioni e delle non linearità sono richieste ripetute soluzioni delle forme nominalmente lineari. Esistono due diversi modi per risolvere questo gruppo di equazioni.

##### Soluzione sequenziale

Le equazioni discretizzate vengono risolte sequenzialmente. Ciascuna equazione viene trattata come se in essa fosse presente una sola variabile incognita (quella primaria), considerando le altre variabili conosciute (usando la migliore stima possibile per esse). Visto che si ha a che fare con sistemi di equazioni troppo grandi da poter essere risolti mediante un metodo diretto, ogni equazione discretizzata viene generalmente risolta mediante un metodo iterativo (ad es. mediante il metodo di Gauss Sidel) piuttosto che mediante un metodo diretto. Le iterazioni eseguite al fine di ottenere la convergenza della singola equazione sono dette iterazioni interne. Dato che, per una data equazione discretizzata, i coefficienti ed il termine di sorgente dipendono dalle altre variabili, una volta risolto sequenzialmente le varie equazioni di bilancio è necessario ripetere il ciclo e cioè sono necessarie iterazioni esterne al fine di ottenere la convergenza contemporanea di tutte le equazioni.

Considerato inoltre che, per una data equazione discretizzata, i coefficienti ed il termine di sorgente cambiano tra una iterazione esterna ed un'altra, è inefficiente risolvere la singola equazione in modo eccessivamente accurato (eseguendo tantissime iterazioni interne).

Per ottenere un algoritmo che dia convergenza può in alcuni casi essere necessario limitare la variazione di una o più variabili tra un'iterazione esterna ed un'altra mediante la tecnica del sottorilassamento di cui si parlerà nel seguito.

##### Soluzione simultanea

Tutte le equazioni discretizzate sono considerate parte di un grande sistema e sono risolte simultaneamente.

Indipendentemente dal tipo di soluzione adottata, il problema discretizzato risulta nella risoluzione di un grande sistema di equazioni del tipo:

Eq. 4-45

$$\overline{A}\overline{\phi} = \overline{b}$$

dove A è la matrice dei coefficienti a struttura sparsa, b è il vettore dei termini noti e  $\phi$  è il vettore delle incognite. Il metodo iterativo produce una sequenza di vettori convergenti al vettore soluzione del sistema iniziale.

I numerosi metodi iterativi attualmente disponibili per la risoluzione delle equazioni discretizzate possono essere raggruppati in due categorie: quella dei metodi “stazionari” e quella dei metodi “non stazionari”, per i quali si rimanda alla letteratura specializzata [1] [8] [13] [26].

Come per i metodi di discretizzazione esistono diversi algoritmi di risoluzione, più o meno efficienti a seconda del sistema considerato. I processi iterativi di risoluzione numerica più utilizzati sono:

- SIMPLE;
- PISO;
- SIMPISO,

per i quali si rimanda alla letteratura specializzata [7].

Essendo l’algoritmo di risoluzione numerica un processo iterativo, è necessario definire dei criteri che ne possano stabilire la validità e la possibilità di raggiungimento di una soluzione plausibile dal punto di vista numerico.

I criteri più significativi sono:

- consistenza: uno schema numerico è detto consistente se il sistema di equazioni algebriche che produce può essere dimostrato equivalente al sistema originario di equazioni differenziali al tendere a zero della grandezza delle celle;
- stabilità: un metodo di risoluzione è detto stabile se non amplifica l’errore numerico ad ogni iterazione.
- convergenza: capacità di un metodo numerico di produrre una soluzione esatta al tendere a zero della grandezza del volume o dell’elemento di controllo; si dimostra che un algoritmo di risoluzione consistente e stabile risulta indipendente dalle caratteristiche della griglia utilizzata.

Se durante un calcolo vengono soddisfatti i criteri suddetti significa che è possibile raggiungere una soluzione coerente dal punto di vista numerico ma non necessariamente validità anche da un punto di vista fisico.

#### 4.3.6 Diversi tipi di solver

Il Fluent prevede due diversi algoritmi di calcolo per la risoluzione delle equazioni che governano il moto dei fluidi:

- Segregated (separato)
- Coupled (accoppiato)

Entrambi operano alla risoluzione delle equazioni citate nel paragrafo precedente, ma l'approccio usato per la linearizzazione e la risoluzione del sistema di algebrico è diverso.

Il metodo di risoluzione Segregated prevede, partendo dai valori delle variabili fluidodinamiche dell'ultima iterazione (o inizializzate dall'utente se si tratta della prima iterazione), il calcolo delle velocità tali da rispettare l'equazione di Navier-Stokes.

I valori ottenuti vengono poi utilizzati alla risoluzione dell'equazione di continuità e se non è verificata, viene apportata una correzione al valore della pressione fino a giungere al soddisfacimento dell'equazione.

Infine si calcolano, in base ai nuovi valori di velocità e pressione, tutte le altre variabili (temperatura, specie chimiche, energia cinetica turbolenta ecc...), che vengono confrontate con quelle dell'iterazione precedente: se non si ottengono gli stessi valori si procede ad un'altra iterazione (Figura 4-11).

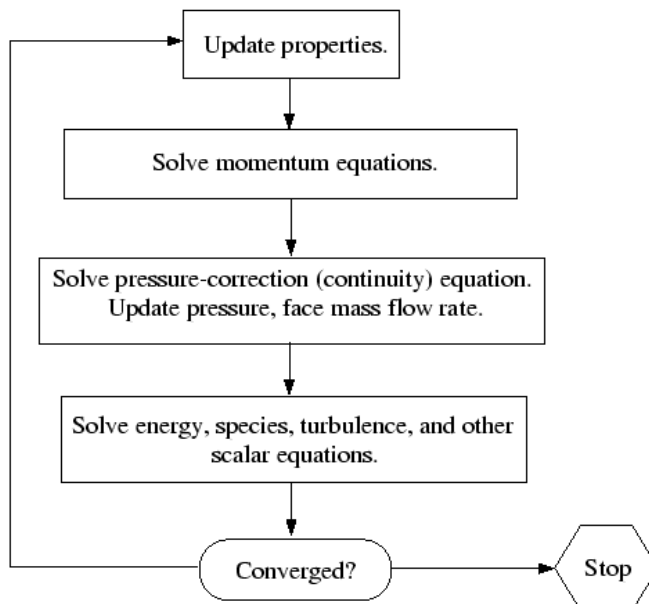


Figura 4-11: Schema di risoluzione del metodo Segregate [7]

Il metodo di risoluzione Coupled, invece, opera la risoluzione contemporanea delle equazioni di continuità, trasporto (se ci sono effetti di diffusione per la presenza di diverse specie chimiche), bilancio di quantità di moto ed energia, partendo dai valori delle variabili fluidodinamiche dell'ultima iterazione.

Poi, con i nuovi valori procede al calcolo delle altre equazioni, ed infine valuta la convergenza del sistema algebrico, nel caso non fosse rispettata si procede ad un'altra iterazione (Figura 4-12).

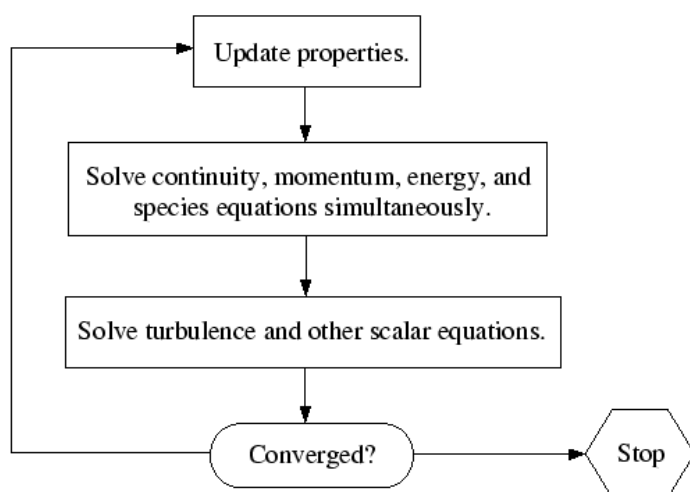


Figura 4-12: Schema di risoluzione del metodo Couplet[7]

#### 4.4 BIBLIOGRAFIA

[1] Abbott, M. B. and Basco, D. R., "Computational fluid dynamics: An introduction for engineers," Harlow, Essex, England: Longman Scientific & Technical; New York, NY: Wiley, 1989.

[2] Bathe, KJ, 1996. *Finite Element Procedures*, Prentice Hall.

[3] Bird, R. B., Steward, W. E., and Lightfoot, E. N., 1960, *Transport Phenomena*. J. Wiley & Sons, New York.

[4] J. U. Brackbill, D. B. Kothe, and C. Zemach. *A Continuum Method for Modeling Surface Tension*. *J. Comput. Phys.*, 100:335-354, 1992.

[5] De Maglio A., Savi F., Sclafani L. (2004): *3D mathematical simulation of dambreak flow*. *The IASTED International Conference on Environmental Modelling and Simulation - St. Thomas, US Virgin Islands*.

[6] Hirsch, C., "Numerical Computation of Internal and External Flows", John Wiley & Sons, 1992.

[7] FLUENT 6.1 User's Guide.

[8] GAMBIT User's Guide.

[9] C. W. Hirt and B. D. Nichols. *Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries*. *J. Comput. Phys.*, 39:201-225, 1981

[10] Ferziger, J.H. and Peric, M., 1995 *Computational Methods for Fluid Dynamics*, Springer-Verlag

[11] Eymard, R., Gallouet, T., and Herbin, R., *Finite Volume Methods, Handbook of Numerical Analysis, Vol. VII, pp. 713-1020*. Edited by P.G. Ciarlet and J.L. Lions (North Holland).year of pub;????

[12] B.A. Finlayson, *The Method of Weighted Residuals and Variational Principles*, Academic, 1972

[13] D. L. Youngs. *Time-Dependent Multi-Material Flow with Large Fluid Distortion*. In K. W. Morton and M. J. Baines, editors, *Numerical Methods for Fluid Dynamics*. Academic Press, 1982.

[14] V.D. Liseikin, 1999. *Grid Generation Methods*. Springer.

[15] Patankar, S. V., 1980 *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*. Hemisphere Publishing Corporation.

[16] Smith, G.D., 1985. "Numerical Solution of Partial Differential Equations: Finite Difference Methods", 3rd edn, Clarendon Press, Oxford.

[17] Charles L. Mader, "Modeling the 1958 Lituya Bay Tsunami", *Science of Tsunami Hazards, Volume 17, Number 1, pages 57-67*.(1999).

[18] Charles L. Mader, *Numerical Modeling of Water Waves*, University of California Press, Berkeley, California (1988).

[19] Owen, S. J. and Shephard, M. S., 2003, eds. *Trends in Unstructured Mesh Generation Special Issue: International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol. 58, No. 2.

[20] Reddy, J.N., 1993. "An Introduction to the Finite Element Method," McGraw-Hill.

[21] Thompson, J.F., Warsi, Z.U.A., and Mastin, C.W., 1985. *Numerical Grid Generation, Foundations and Applications*. North Holland, Amsterdam.

[22] Thompson, J. F., Soni, B. and Weatherill, N., *Handbook of Grid Generation*, CRC Press.

[23] Versteeg, H.K., and Malalasekera, W., 1995. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method*, Addison Wesley Longman, Ltd., Harlow, England.

[24] Roberto Verzicco, 2001, *Lezioni del corso di Fluidodinamica*, Politecnico di bari, DIMeG.

[25] Zienkiewicz, O.C., Taylor, R., 2000, *The Finite Element Method: Volumes 1, 2 & 3., 5th Edition*-Elsevier Butterworth-Heinemann.

indice

5 .....	Onde impulsive generate da frane	151
5.1	Origine e genesi delle onde impulsive .....	151
5.2	Definizione del problema .....	158
5.3	Revisione critica della letteratura .....	159
5.3.1	..... Osservazione di onde impulsive generate da frane.	159
5.3.2	..... Conclusioni dalle osservazioni	161
5.3.3	..... Conclusioni dagli studi effettuati	161
5.3.4	..... Identificazione del “research gap”	162
5.3.5	..... Obiettivi dello studio	162
5.4	Calibrazione e validazione .....	163
5.4.1	..... Introduzione	163
5.4.2	..... Analisi PIV di onde impulsive generate da frana	164
5.4.3	..... Analisi numerica	167
5.4.4	..... Confronto dei risultati	169
5.5	Risultati .....	172
5.5.1	..... Movimento subacqueo della frana	172
5.5.2	..... Generazione dell’onda	175
5.5.3	..... Separazione del flusso	177
5.5.4	..... Simulazione con $F \ll 1$ : flusso non separato	180
5.5.5	..... Tipi di cratere d’impatto idrodinamico	182
5.5.6	..... Simulazioni con $F > 1$ : flusso separato	187
5.6	caso di studio: Mega-tsunami, 1958 baia di Lituya .....	195
5.6.1	..... Analisi del fenomeno	195
5.6.2	..... Simulazione fluidodinamica della generazione dell’onda nella baia di Lituya	197
5.7	Bibliografia .....	205



## Onde impulsive generate da frane

### Origine e genesi delle onde impulsive

Un'onda anomala è un treno o una serie di onde generate in un corpo d'acqua da un disturbo impulsivo che tende a muovere verticalmente una colonna d'acqua. In generale, qualunque evento sia capace di spostare in maniera impulsiva grandi volumi d'acqua può provocare un'onda impulsiva. Le onde impulsive hanno principalmente quattro origini: terremoti (Figura 0-1), frane, eruzioni vulcaniche e impatto di asteroidi. La lunghezza e il periodo delle onde impulsive dipende fortemente dal meccanismo di generazione e dall'intensità e dimensioni dell'evento scatenante.

Le onde impulsive che si verificano negli oceani sono comunemente chiamate Tsunami, termine giapponese formato composto da due parole "tsu" e "nami" che significa porto ed onda. Il termine tsunami, nell'accezione usata in Giappone e dalla comunità scientifica, non si riferisce al meccanismo di generazione dell'onda, e nel linguaggio comune spesso ci si riferisce solo ad onde generate da sismi. Sebbene la maggior parte di tsunami siano generati da terremoti, nei recenti studi sulla generazione di tsunami sta crescendo l'interesse sull'importanza delle frane ed in particolare delle frane sottomarine. Gli tsunami osservati negli oceani sono per circa il 10% generati da frane.

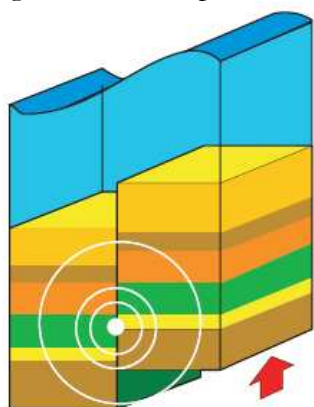


Figura 0-1: Onda generata da terremoto[1]

Uno tsunami si distingue da un'onda normale (tipo le onde generate dal vento, Figura 0-2) per effetto della sua lunghezza d'onda: un'onda si dice tsunami quando la sua lunghezza d'onda è superiore alla profondità dell'acqua dove si genera. E' questo il caso degli tsunami che raggiungono lunghezze d'onda di oltre 100 km. Considerando che la velocità con la quale un'onda perde la sua energia cinetica è inversamente proporzionale alla sua lunghezza d'onda, gli tsunami non solo si propagano ad alte velocità (600-900 km/h contro i 15-50 km/h di un'onda generata dal vento), ma possono percorrere distanze enormi con perdite di energia limitate. In prossimità della costa le onde generate dal vento si infrangono con ancora un movimento rotatorio (Figura 0-2) che tende a far ritirare l'acqua e quindi non invadono la costa. Uno tsunami, invece, ha un effetto devastante anche a causa dell'inondazione successiva all'impatto (Figura 0-3).

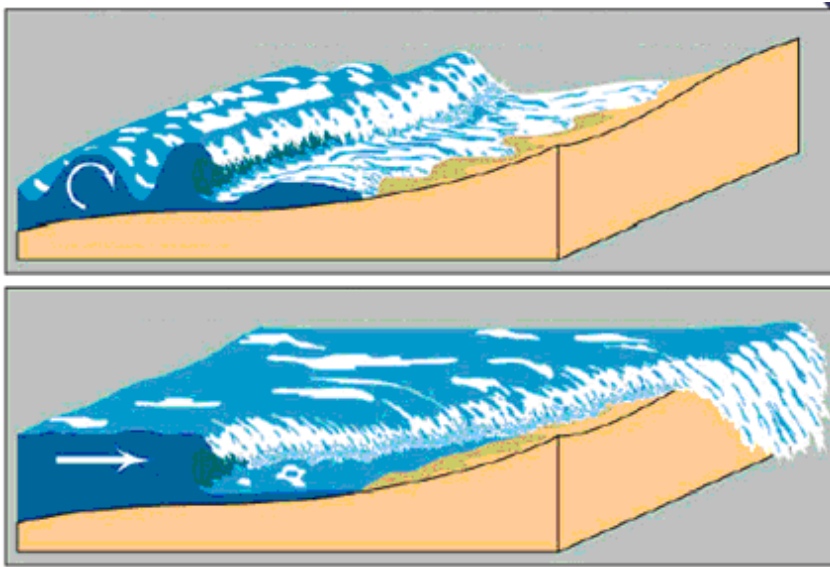


Figura 0-2: Differenza fra un'onda prodotta dal vento e uno tsunami all'impatto con la costa. [55]

Uno dei casi più significativi di tsunami fu quello dell'esplosione e relativo collasso del vulcano di Krakatoa (Indonesia) nel 1883. L'esplosione generò onde di diverse decine di metri che distrussero le città e i villaggi costieri lungo lo stretto della Sonda in ambedue le isole di Java e Sumatra uccidendo più di 35.000 persone. Si ritiene che anche la distruzione della civiltà Minoica sia stata causata dall'esplosione/ collasso del vulcano di Santorini nel mar Egeo. Molti scienziati ritengono invece che lo tsunami del 1998, che uccise migliaia di persone e distrusse i villaggi lungo la costa nord di Papua Nuova Guinea sia stato generato da un grande sprofondamento di sedimenti sottomarini originato da un terremoto. In genere l'energia delle onde di tsunami generate da frane o sprofondamenti sottomarini si dissipa rapidamente durante la propagazione lontano dalla sorgente e attraverso il mare aperto o all'interno di un bacino chiuso o semichiuso come un lago o un fiordo [8] .



a)



Figura 0-3: Effetto di uno tsunami all'impatto con la costa: a) prima dell'arrivo dello tsunami; b) arretramento dell'onda c) lo tsunami ha colpito la costa e l'acqua sta invadendo il territorio. [55]

Se lo tsunami è generato da un grande terremoto su un'area molto vasta, la lunghezza iniziale e il periodo dell'onda saranno maggiori, altrimenti, se è generato da una frana sottomarina a scala locale, la sua lunghezza iniziale e il periodo saranno minori, variando indicativamente da 1-5 minuti a 90-100 minuti. In oceano la lunghezza d'onda di uno tsunami può raggiungere i 200 Km mentre l'altezza tra cresta e cavo dell'onda può essere di solo pochi centimetri fino a un metro o più, a seconda dell'energia liberata dalla sorgente e del meccanismo di generazione. Più è profondo il fondale, maggiore è la velocità raggiunta dalle onde. Le creste di un'onda di tsunami possono quindi essere a centinaia o decine di chilometri una dall'altra ed è impossibile, per esempio per i passeggeri di un'imbarcazione che si trovi lontano dalla spiaggia dove l'acqua è profonda, sentire o vedere le onde di tsunami che si propagano sotto la chiglia ad alta velocità.

L'unica cosa che può essere percepita è un lento e gentile sollevamento e successivo abbassamento della superficie del mare. Il grande maremoto del 1896, che colpì l'isola di Honshu in Giappone, non fu assolutamente percepito dai pescatori che operavano 20 miglia al largo. L'ampiezza in acqua profonda dell'onda di tsunami era di pochi centimetri mentre, quando arrivò a terra, si trasformò in una sequenza di mostruose ondate che distrussero porti e villaggi lungo 270 Km di costa uccidendo 28.000 persone. Per i motivi illustrati è evidente che le onde di tsunami non possono essere rilevate con mezzi aerei, mentre dallo spazio esse possono essere distinte dalle comuni onde marine [8]

Lo tsunami arriva alla costa come una successione di creste e cavi che assumono l'aspetto di innalzamenti e abbassamenti del livello del mare, distanti l'una dall'altra in genere 10-40 minuti. Nel momento in cui le onde incontrano i bassi fondali costieri, delle baie, dei porti, la loro velocità di propagazione si riduce a qualche decina di Km/h, così come la lunghezza, che diminuisce fino a raggiungere qualche Km in prossimità della riva. Poiché l'energia dell'onda deve essere contenuta in un minore volume d'acqua, questa cresce in altezza.

Rischio tsunami per le coste italiane [5]

Per sottolineare come le coste italiane non siano affatto al sicuro da eventi di questo tipo, si ricorda l'onda generata dalla frana del vulcano Stromboli nel 2002, con le dovute differenze legate alla scala del fenomeno. In quel caso l'onda generata dallo scoscendimento fu limitata a pochi metri e esercitò la sua azione principalmente lungo le coste dell'isola omonima. Fenomeni ondosi anomali di lieve entità sono segnalati continuamente nelle isole Eolie e lungo la costa nord della Sicilia.

Il rischio associato a possibili tsunami non è trascurabile in quanto nei nostri mari possono essere messi in atto tutti e tre i citati principali meccanismi di generazione dei maremoti: grande terremoto sottomarino, frana sottomarina ed eruzione o collasso vulcanico sottomarino.

Nel Mediterraneo le zone più esposte sono quelle del Mar Egeo, il Golfo di Corinto e il Mar di Marmara, mentre in Italia non bisogna dimenticare le coste del sud Tirreno, la Sicilia orientale, il medio Adriatico e il Gargano. Recentemente anche la Liguria e la Sardegna sono state interessate da un lieve fenomeno, provocato dal terremoto dell'Algeria del 2003, che fortunatamente non ha liberato energia sufficiente a provocare un'onda distruttiva. Infatti, per scatenare un maremoto catastrofico è necessario che si verifichi un terremoto molto intenso, e nella storia italiana sono avvenuti solo pochi eventi davvero significativi: ad esempio nel 1627 sul Gargano, nel 1783 lungo la Calabria Tirrenica e nel 1908 nello stretto di Messina. Fonte di ulteriore pericolo per le coste della Sicilia e della Calabria tirrenica sono poi i molti vulcani emersi e sommersi a nord (Stromboli, Vulcano, Marsili, Vavilov e Magnaghi) e a sud (Isola Ferdinandea) della Sicilia stessa. La distribuzione statistica degli eventi di maremoto in Italia, tratta dal "Catalogo dei Maremoti Italiani" pubblicato su Natural Hazards 2004 [4] e disponibile in rete, registra peraltro una decina di eventi, più o meno intensi, ogni 100 anni a partire dal 79 D.C., data della spaventosa eruzione del Vesuvio. Quanto sopra deve indurre a considerare con attenzione la possibilità che eventi di questo tipo, anche se non catastrofici, possano verificarsi lungo le nostre coste.

Un recente studio dell'Università di Napoli Federico II, in collaborazione con il CNR e l'APAT, avviato dopo il maremoto del 30 dicembre 2002 che interessò Stromboli, le isole vicine e la costa compresa tra Milazzo (Sicilia) e Marina di Camerota (Campania), ha evidenziato che negli ultimi 1000 anni vi sono stati 71 movimenti anomali del mare che hanno interessato le coste italiane. Gli eventi, elencati nel catalogo dei maremoti italiani riportato sul sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, sono stati analizzati per individuarne le cause, ricostruire le aree interessate dai vari movimenti anomali del mare al fine di delimitare le zone costiere a rischio da tsunami e analizzare le disposizioni attuali per prevenire i danni. Gli eventi si sono verificati con una media di uno ogni 12,5 anni; 18 sono avvenuti durante il periodo balneare.

Le aree interessate sono le seguenti: Liguria (14 eventi); Stretto di Messina- Sicilia Orientale- Calabria meridionale tirrenica- Isole Eolie (23 eventi); Adriatico (10 eventi); Golfo di Napoli (10 eventi); Toscana (3 eventi); Sicilia settentrionale (2 eventi); Sicilia meridionale (2 eventi); Calabria settentrionale ionica (1 evento); Lazio (1 evento). La massima altezza che l'acqua marina ha raggiunto invadendo l'area emersa è stata valutata tra 6 e 15 m.

L'interpretazione dei dati sismici e morfostrutturali ha consentito di individuare le seguenti cause dei maremoti italiani: terremoti generati da strutture sismogenetiche che interessano in parte l'area costiera emersa e sommersa (Calabria, Sicilia orientale, Gargano, Ancona); grandi e rapide frane sottomarine innescate prevalentemente da terremoti ed eruzioni; grandi frane costiere subaeree; accumulo antropogenico di terreno di riporto sul ciglio della scarpata continentale. Il maggior numero di eventi è stato provocato da grandi e rapide frane

sottomarine innescate prevalentemente da terremoti avvenuti anche in aree distanti dalla costa.

I fenomeni più gravi si sono verificati nel Tirreno Meridionale-Stretto di Messina-Sicilia Orientale. E' evidente che l'attuale spinta urbanizzazione e frequentazione estiva delle aree costiere renderebbe notevolmente più grave l'impatto di eventi simili a quelli storici. Il maremoto più disastroso, paragonabile per numero di vittime a quello avvenuto il 26 dicembre nel Sud Est Asiatico, nel Golfo del Bengala, è quello che si verificò circa 10 minuti dopo il sisma del 1908 che distrusse Reggio Calabria e Messina provocando decine di migliaia di morti.

Lo studio ha evidenziato che il maremoto del 1908 non fu provocato direttamente dal sisma, come finora si è ritenuto, ma da una grande frana sottomarina, verificatasi nello Stretto di Messina a sud di Reggio Calabria, che fu innescata dallo scuotimento sismico. La ricerca espletata nelle aree più colpite dal maremoto ha messo in luce che se si ripetesse oggi un evento simile durante il periodo balneare si registrerebbero scene drammatiche e luttuose simili a quelle verificatesi pochi giorni fa nel sud est asiatico.

Le aree costiere italiane a rischio da tsunami, non sono tutelate da interventi strutturali preventivi né da attive misure di monitoraggio, di didattica e protezione civile, al fine di predisporre le aree costiere e la popolazione a rischio da tsunami ad affrontare il rischio ambientale.

#### Ruolo della costa e dei fondali.

A seconda della configurazione geometrica della costa e dei fondali, le onde possono essere soggette a significativi fenomeni di rifrazione convergendo la loro energia su aree particolari anche localizzate, e accrescendo il potere distruttivo del fenomeno. Insomma, anche se un'onda di tsunami ha un'altezza dell'ordine del metro o meno in acqua profonda, essa può crescere fino a raggiungere 10, 20 m e anche di più quando si abbatte sulla costa.

A centinaia di Km di distanza un'altra onda, componente del treno originatosi nel sito di generazione, si propaga in acqua profonda verso le stesse spiagge a una velocità molto maggiore; alle sue spalle un'altra onda si propaga a una velocità ancora più elevata, e così via.

Le onde che si avvicinano alla costa, frangendo su fondali compatibili con la loro altezza e cioè a una profondità di 10 – 20 metri, si presentano come fronti compatti e veloci di acqua spumeggiante in movimento; la loro energia si trasforma in un sovrizzo del livello del mare che raggiunge una certa quota a terra definita "quota di massima risalita rispetto al livello medio marino". Ogni volta che uno tsunami provoca una risalita del livello marino superiore al metro genera un pericolo prolungato, proprio per la caratteristica di queste onde che si frangono con intervalli di tempo molto lunghi. La quota raggiunta dall'acqua nei diversi siti colpiti dipende peraltro da come l'energia è distribuita lungo il fronte di propagazione, dalla configurazione della costa e dalla topografia del fondo.

Le piccole isole con scarpate ripide sono soggette a una risalita limitata, dovuta al fatto che la vicinanza dell'alto fondale alla costa impedisce l'aumento di altezza delle onde che si avvicinano alle scarpate rocciose, e sono quindi a limitato rischio di tsunami. Nei casi in cui si abbiano coste basse con spiagge estese e ampie baie esposte al mare aperto, la situazione può essere diametralmente opposta, e si sono registrati casi in cui la quota di risalita è arrivata fino a 8 m (Hawaii, 1946).

Le onde anomale, inoltre, si comportano diversamente a seconda che si propagano in mare aperto o vicino alla costa (Figura 0-4). Uno tsunami in mare aperto è caratterizzato da grandi lunghezze d'onda e piccole ampiezze. Avvicinandosi alla costa, per effetto dell'attrito con il terreno e dell'abbassamento del fondale, che ne riducono rapidamente la velocità, l'onda anomala tende ad alzarsi a spese di una riduzione della sua lunghezza. Uno tsunami con

meno di 1 m di altezza in mare aperto può superare i 50 m di altezza prima di infrangersi sulla costa.

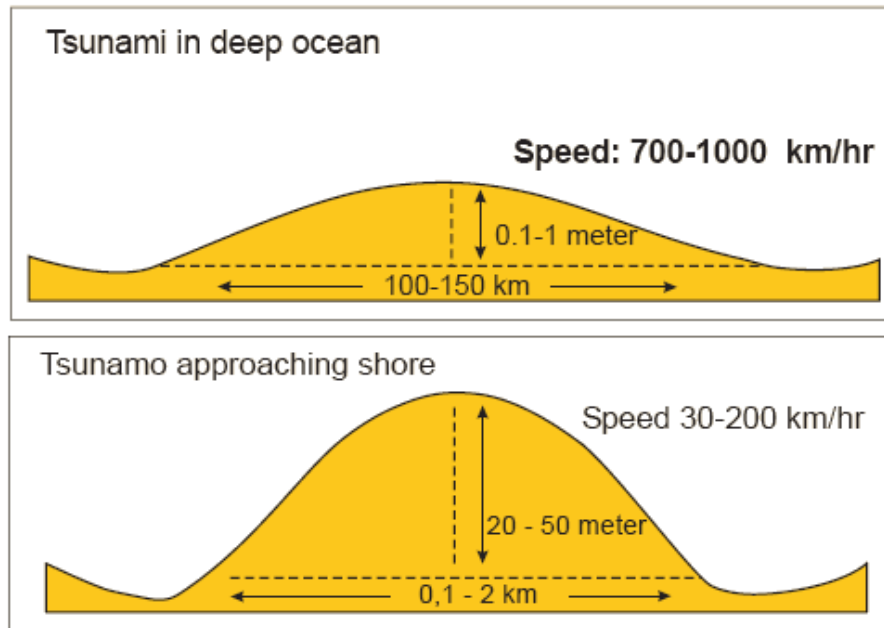


Figura 0-4: Caratteristiche di un'onda anomala in mare aperto e vicino alla costa. [55]

#### Meccanismi di distruzione.

I meccanismi di distruzione associabili a uno tsunami sono essenzialmente tre: impatto sulle strutture, inondazione ed erosione. Le forti correnti indotte provocano l'erosione delle fondazioni e il collasso di ponti e opere marittime. Le forze di trascinamento rovesciano automobili ed edifici. Considerevoli danni sono provocati dai detriti galleggianti, incluse barche e autoveicoli, che diventano pericolosi proiettili e possono impattare contro edifici e rompere linee elettriche. Navi danneggiate nei porti o depositi costieri di idrocarburi e altre sostanze, nonché impianti di raffinazione distrutti, possono rilasciare nell'ambiente inquinanti di pericolosità e in quantità tale da provocare danni di gran lunga superiori a quelli direttamente inflitti dallo *tsunami*.

Altro devastante effetto è l'abbassamento del livello del mare che può portare alla temporanea emersione delle opere di presa dell'acqua di raffreddamento di importanti centrali per la produzione di energia.

#### I sistemi di allerta e la prevenzione.

Negli Stati Uniti è stato implementato per l'Oceano Pacifico un sistema di allerta precoce (Sistema DART) costituito da un sensore di pressione evoluto posto sul fondale che rileva l'andamento del livello del mare e trasmette i dati rilevati ad una boa di superficie dotata di sistema di pre-elaborazione.

Tale sistema, per mezzo di un sofisticato algoritmo è in grado di discriminare la presenza di onde di maremoto da tutte le altre componenti delle continue variazioni del livello marino, e di trasmettere via satellite le informazioni relative a un probabile allarme ai centri di osservazione governativi che mettono in atto le procedure di allerta previste.

Tuttavia nel Mediterraneo, diversamente da quanto avviene nei grandi oceani Pacifico e Indiano, le possibili sorgenti di tsunami sono sempre molto vicine alla costa, e considerata la velocità di propagazione delle perturbazioni, l'intervallo temporale utile per individuare l'insorgenza del fenomeno, valutarne la portata, intervenire e avvisare la popolazione è di

pochi minuti, in quanto l'arrivo delle onde sulle coste è da attendersi in un tempo variabile dai 30 minuti alle 2 ore dall'evento che le ha generate.

In tale contesto, sistemi come quello statunitense per l'allerta precoce in relazione a onde di tsunami che si propagano nell'oceano Pacifico, verrebbero a perdere gran parte della loro efficacia, essendo studiati per tempi di propagazione delle onde di maremoto dell'ordine di diverse ore.

Il fatto quindi che il nostro Paese non abbia sviluppato fino ad ora uno specifico sistema tecnologico (l'unica esperienza è quella del sistema installato a Stromboli dalla Protezione Civile, dove il moto ondoso è monitorato costantemente in modo da registrare ogni variazione) non stupisce.

Per quanto riguarda i sistemi di monitoraggio di base del mare, con diffusione a scala nazionale, il nostro Paese dispone già di una esperienza ben consolidata. L'APAT, Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici, gestisce le reti ondometrica nazionale (RON) e mareografica nazionale (RMN), costituite l'una da 14 boe per la misura del moto ondoso generato dal vento e della temperatura del mare al largo delle coste in punti rappresentativi, e l'altra da 26 stazioni per la misura del livello e temperatura del mare, e del vento, pressione atmosferica e temperatura dell'aria nei principali porti italiani.

Considerato che un sistema di individuazione precoce dei maremoti non risulterebbe risolutivo nei nostri mari, la parola chiave è ancora una volta "prevenzione". E' in questo contesto che si inserisce questa parte della tesi.

Il primo obiettivo è l'individuazione delle aree critiche attraverso programmi di studi e indagini finalizzati alla conoscenza della fenomenologia e all'analisi degli scenari di rischio che si potrebbero presentare sulla costa a seguito di fenomeni di tsunami con caratteristiche violente.

A tale scopo è necessario affrontare le tematiche della genesi, tipologia e importanza di fenomeni fisici che possono generare eventi ondosi anomali, delle caratteristiche delle onde generate dai suddetti fenomeni, della propagazione delle perturbazioni ondose verso le isole e le coste, dell'analisi degli effetti di risalita dell'onda sulla costa esposta. In considerazione di ciò risulta indispensabile disporre di dati relativi agli effetti prodotti dagli eventi verificatisi, pur se di ridotta intensità, al fine di quantificare, anche per via indiretta, eventuali parametri di difficile stima; questo può essere il contributo maggiore che il funzionamento continuo del sistema di monitoraggio può fornire alla comunità, anche se, come già ricordato, non dovesse risultare risolutivo a causa dei ridottissimi tempi disponibili per l'attuazione di procedure di emergenza.

L'individuazione della localizzazione delle aree critiche e del relativo livello di criticità, potrà consentire la programmazione di piani di tutela, l'introduzione di limitazioni all'uso della fascia costiera fino a quote compatibili con gli effetti dei fenomeni di maremoto, la messa in sicurezza delle aree e delle infrastrutture più delicate, come le aree di stoccaggio portuali o quelle occupate da impianti di raffinazione o ancora da depositi costieri di sostanze inquinanti e pericolose. Ciò al fine di evitare che ai danni alle persone e al territorio dovuti al fenomeno naturale se ne sommino altri secondari di impatto non meno significativo e con effetti anche più persistenti.

Al termine di questa analisi sul tema degli tsunami, il messaggio che si può trarre, proviene direttamente dal maremoto asiatico: per quanto sia evoluta la tecnologia umana, questa è ancora impotente contro le forze della natura e benché ci si illuda di esercitare il controllo sull'ambiente, in realtà siamo completamente vulnerabili. L'unico strumento davvero a nostra disposizione è la conoscenza, che sempre più ci avvicinerà alla comprensione dei processi naturali e all'individuazione delle equilibrate forme di convivenza con essi, che assicurino nel futuro la sicurezza dell'umanità.

## Definizione del problema

In generale le onde impulsive sono onde d'acqua a gravità, che possono essere generate da differenti fenomeni capaci di spostare masse d'acqua, come flussi di massa solida (frane) o mista solido-liquido (*debris-flow*), eruzioni vulcaniche, terremoti, impatti di asteroidi ed esplosioni sottomarine. I flussi di massa possono essere suddivisi in quattro principali categorie: rocce ad alta densità, movimenti di masse di terra, ghiacci a bassa densità e valanghe di neve.

In questo lavoro si considerano solo onde impulsive generate da frane di terreno, le altre categorie sono utilizzate solamente per confronto. Ricordiamo che gli eventi storici più distruttivi documentati riguardano onde generate da eventi franosi.

La classificazione più usata per l'interazione frana/ massa d'acqua si basa sulla posizione iniziale della frana relativamente al pelo libero dell'acqua, si riconoscono tre principali categorie (Figura 0-5):

1. impatto di una frana subaerea al corpo idrico;
2. frana parzialmente sommersa;
3. frana subacquea o sottomarina.

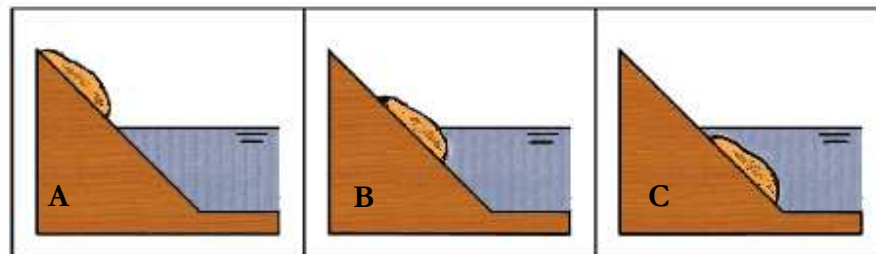


Figura 0-5 Classificazione di frane generatrici di onde impulsive. Posizione iniziale della frana: A) Esterna (subaerial), B) Parzialmente sommersa (partially submerged), C) Sommersa (subaqueous).

La posizione iniziale della frana determina le caratteristiche fisiche del processo ed in particolare il ruolo dell'aria intesa come terza fase.

Le frane subacquee o sottomarine possono essere trattate come un flusso bifase costituito dall'interazione del materiale di scorrimento con l'acqua.

Per frane esterne all'acqua è necessario prendere in considerazione tre fasi: il materiale di scorrimento, l'acqua e l'aria.

La classificazione ora descritta è comunemente utilizzata per i modelli fisici e numerici di onde generate da frane

In questo lavoro sono considerate solamente frane che impattano con l'acqua sopra al pelo libero, anche se le onde generate da frane sottomarine stanno raccogliendo una grande attenzione da parte della comunità scientifica ([41], [42], [56], [16], [29], [30]). I bacini considerati possono essere dighe, serbatoi, laghi, insenature marittime, baie oceaniche. L'onda impulsiva è particolarmente significativa nei laghi alpini o nelle baie marine racchiuse da pendii, dove sono presenti rive scoscese, la geometria del bacino è stretta, la possibilità di scivolamenti di grandi masse ad alta velocità di impatto.

Il fenomeno dell'onda impulsiva può essere schematizzato in tre fasi come mostrato in Figura 0-6. la prima fase riguarda il processo di generazione dell'onda causato dall'impatto della frana e la propagazione lungo il letto del bacino, lo spostamento dell'acqua e la formazione dell'onda. La seconda fase comprende la propagazione del treno d'onda sopra il *water body*, la diffusione laterale e la dispersione. La terza fase è caratterizzata dal *run up*, o



risalita, dell'onda lungo la linea di riva e la trasformazione dell'onda con la diminuzione dell'altezza d'onda. La transizione tra le diverse fasi è ovviamente graduale.

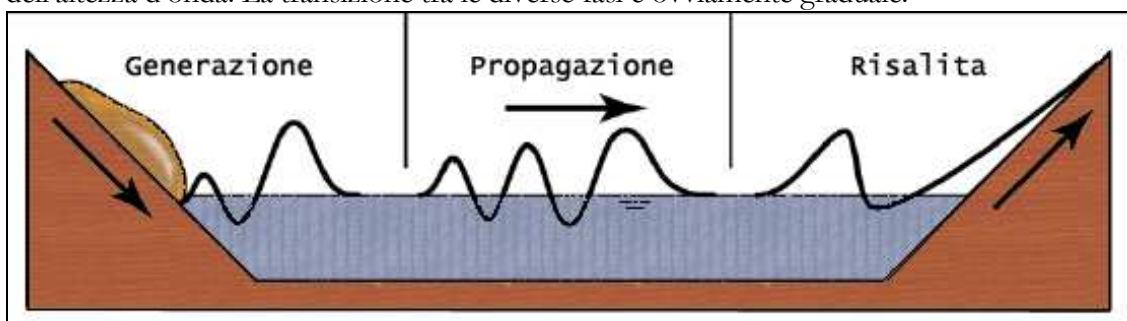


Figura 0-6: Fasi di onde impulsive generate da frane: onda generate dall'impatto della frana, propagazione dell'onda sopra al bacino, run up dell'onda lungo la linea di riva.

In particolare nei piccoli bacini o nelle baie la risalita dell'onda può anche iniziare prima che sia ultimato il movimento di frana, saltando la fase intermedia di propagazione.

Nel presente studio si focalizza la fase di generazione dell'onda ed il vicino campo di propagazione dell'onda.

Le onde impulsive possono causare disastri dovuti al *run up* dell'onda lungo la linea di riva e *overtopping* di dighe. Il *run up* dell'onda è, dunque, la fase più pericolosa. Ricordiamo una delle peggiori catastrofi della storia delle Alpi, quando una grande massa franosa precipitò nel serbatoio della diga del Vajont nel 1963: l'onda generata dall'impatto è risalita di 270 m lungo il prolungamento dell'asse i scorrimento della frana superando la diga di oltre 100 m. Diversi centri abitati furono completamente distrutti, producendo circa 2000 vittime.

La più grande onda di tsunami mai osservata, che è appunto il caso di studio scelto per il presente lavoro di tesi, fu generata proprio da una frana a Lituya Bay, in Alaska nel 1958, messa in moto da un terremoto e costituita di circa 40 milioni di metri cubi di roccia. Un'enorme onda solitaria di 180 m spazzò alla velocità di 160 Km/h le sponde della baia ma, una volta lontana dalla sorgente e propagandosi in mare aperto, la sua altezza ed energia diminuirono rapidamente tanto che risultò difficilmente riconoscibile all'esame delle misure dei mareografi. L'acqua risali per oltre 500 m sopra al livello del mare. Malgrado questo, una barca nel mezzo della baia fu in grado di navigare fra le onde. Questo spiega come la fase di propagazione sia molto meno pericolosa della fase di risalita. [9],[12], [38], [36], [45]

### Revisione critica della letteratura

E' davvero molto difficile trovare bibliografia riguardante il fenomeno di onde generate da frane. Sono ricordati solo alcuni eventi che hanno generato perdite di vite umane, alcuni di loro sono tra i più distruttivi disastri naturali conosciuti.

La letteratura risulta dispersa e i report originali sono difficili da ottenere. Una sintesi di impatti di frane esterne e parzialmente sommerse sono forniti in Appendice C. Questa casistica può essere usata per paragonare i modelli fisici e numerici con gli eventi realmente accaduti. I modelli sono raggruppati in 3 principali categorie: onde provocate dall'impatto di corpi solidi che scivolano nel mare (*sliding blocks*), onde provocate dall'impatto di corpi solidi in caduta libera (*pistons*) e onde provocate da frane di materiale granulare (*granular slides*).

*Osservazione di onde impulsive generate da frane.*

### Onde d'acqua a gravità

In generale le onde impulsive sono onde d'acqua a gravità generate da un disturbo impulsivo del corpo idrico. Ne presente caso sono considerate onde generate dall'impatto di masse

franose non subacquee. I parametri per descrivere un'onda sono mostrati in Figura 0-7, i principali sono la lunghezza d'onda,  $L$ , definita come la distanza da cresta a cresta, l'altezza d'onda,  $H$ , definita come la distanza verticale fra la cresta e il cavo dell'onda, e l'ampiezza, definita come la distanza verticale fra la cresta e il livello dell'acqua in condizioni indisturbate,  $a$ . Tutti gli altri parametri (velocità,  $c$ , periodo,  $T$  ecc.) possono essere determinati a partire dai principali. Il parametro  $\eta$  definisce il profilo dell'onda, funzione della posizione nello spazio:  $\eta = \eta(x)$  dove  $x$  è la direzione di propagazione dell'onda. Nel caso particolare della teoria delle onde lineari, l'altezza di un'onda è uguale al doppio della sua ampiezza,  $L = 2a$ .

Nel caso delle onde impulsive studiate in questo lavoro, l'onda è fortemente non lineare. Per maggiori dettagli sulla teoria delle onde si rimanda alla letteratura specializzata [39]. La letteratura specializzata sulle onde di superficie a gravità degli ultimi decenni si può raggruppare in due principali categorie.

La prima riguarda i principali meccanismi delle onde in relazione alle discipline di ingegneria costiera e oceanografia:

- Sorensen (1993) [51], Dean and Dalrymple (1991)[6], Tucker (1991)[54], Herbich (1990)[18], Mei (1989)[40], Sarpkaya and Isaacson (1981)[48], Blevins (1979)[2], Horikawa (1978, 1988)[20], LeBlond and Mysak (1978)[27], LeMéhauté (1976)[28], Silvester (1974)[50], Ippen (1966)[25], Wiegel (1964)[59], Wehausen and Laitone (1960) [57], Stocker (1953)[52], Lamb (1932)[26].

La seconda affronta la tematica del meccanismo delle onde dal punto di vista della fisica delle onde, con i principali contributi analitici e i moderni metodi matematici nei modelli fisici non lineari:

- Infeld e Rowlands (2000)[24], Remoissenet (1999)[47], Johnson (1997) [31], Kneubühl (1997) [32], Korsunsky (1997) [33], Nettel (1995) [43], Rahman (1995) [46], Debnath (1994) [7], Mader (1988) [39], Lighthill (1978) [34], Whitham (1974) [58].

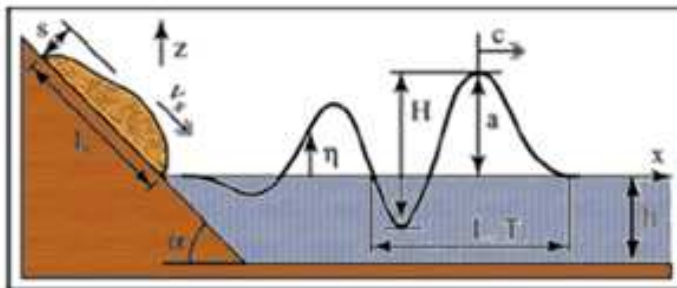


Figura 0-7:Definizione dei principali parametri della frana,del corpo idrico.

La Figura 0-7 mostra anche i principali parametri della frana che genera l'onda:

- lo spessore,  $s$ ;
- la lunghezza,  $l_s$ ,
- la velocità del baricentro al momento dell'impatto,  $v_s$ ;
- la densità,  $\rho_s$  (generalmente fra 2,6 e 2,7  $t/m^3$ );

La topografia del corpo idrico, infine, è caratterizzata da:

- altezza d'acqua in condizioni indisturbate,  $h$ ;
- angolo al piede del versante,  $\alpha$ ;

Il sistema di coordinate utilizzato ha origine all'intersezione fra pelo libero in condizioni indisturbate ed il versante.

### *Conclusioni dalle osservazioni*

Le seguenti conclusioni sono tratte dalle osservazioni di onde generate da frane presentate in Appendice C.

- Le informazioni disponibili da eventi realmente accaduti sono limitate alla cicatrice lasciata dalla frana, ai depositi sottomarini del material di frana, alle tracce lasciate dalla risalita dell'acqua lungo il pendio e alle registrazioni dei sensori di altezza dell'onda;
- la maggiore risalita dell'acqua lungo un pendio mai registrata nella storia è pari a 524 m ed è stata prodotta da un'onda generata dall'impatto ad alta velocità di una frana;
- le osservazioni delle altezze di risalita (*run up*) d'onda lungo la linea di riva variano in maniera significativa;
- il run-up più alto avviene nella maggior parte dei casi lungo il prolungamento dell'asse di slittamento della frana;
- la prima onda non è solitamente anche la più alta;
- in generale il coefficiente di attrito  $f$  diminuisce con il volume della massa in movimento viceversa la velocità e la distanza di run up aumentano con il volume di materiale di frana.
- per frane subacquee il coefficiente di attrito equivalente è di ordine di grandezza minore di quello di frane sub-aeree mentre la distanza di *run out* per frane sottomarine (è stata stimata una distanza di *run out* di oltre 200 km) è molto maggiore di quella di frane esterne al pelo libero;
- è stata valutata una velocità di impatto superiore a 150 m/s ed un numero di froude di impatto pari a 5;
- frane con velocità di impatto di ordine inferiore a metro al secondo di solito non generano onde impulsive;
- i volume di massa franata può superare quello di acqua del bacino;
- la densità media di molte frane può essere assimilate a valori di 2,6 – 2,8 t/m<sup>3</sup>;
- l'angolo di piede del pendio  $\alpha$  può variare da valori vicini a 0° fino a 90°, il volume di frana decresce significativamente di ordine di grandezza all'aumentare dell'angolo  $\alpha$ . Spesso l'angolo si riduce nelle vicinanze del pelo libero.
- gli eventi più importanti sono solitamente preceduti da molteplici segnali di allarme;
- 60 000 è il numero stimato di morti negli ultimi due secoli;
- è sicuramente necessario un sistema di preannuncio e preallarme per fenomeni di frane e frane che generano onde.

### *Conclusioni dagli studi effettuati*

Le seguenti conclusioni sono tratte dalla revisione di letteratura sulle teorie onde d'acqua a gravità e sui modelli fisici e numerici di onde impulsive generate da impatti con masse franate:

- le soluzioni analitiche sono piuttosto carenti nelle descrizioni accurate delle caratteristiche di onde in campo non lineare;
- le soluzioni analitiche di ordine superiore non sono necessariamente migliori di quelle di ordine inferiore;
- le onde impulsive generate da frana avvengono tipicamente in un regime di profondità di acqua intermedia;
- sono identificati i seguenti parametri nella descrizione del fenomeno: volume della frana  $V_s$ , densità media della frana  $\rho_s$ , velocità d'impatto  $v_s$ , spessore della frana

- all’impatto  $s$ , larghezza frana  $b$ , angolo di piede del piano inclinato  $\alpha$ , tirate in condizioni indisturbate  $h$ ;
- l’effetto dell’angolo di piede del pendio sull’altezza d’onda è poco rilevante. Gli esperimenti mostrano che si ha una diminuzione di altezza d’onda con l’aumento di angolo d’impatto a parità di energia d’impatto, mentre Huber (1980) [22] mostra un piccolo aumento di altezza d’onda con l’aumento dell’angolo di piede pendio.
  - i dati disponibili per la costruzione di modelli fisici provengono da sonde di altezza che si trovano spesso a grande distanza dalla zona di impatto e l’una dall’altra;
  - una validazione accurata dei modelli numerici richiede misure precise del volume di massa impattante e delle caratteristiche dell’onda generata;
  - per modelli di impatto di frane con numeri di Froude  $F < 1$  modelli numerici completi dell’intero processo forniscono i risultati aspettati e meglio si adattano a situazioni specifiche.

#### *Identificazione del “research gap”*

Dall’analisi dell’approccio fisico e numerico di modelli di onde impulsive generate da frane si sono evidenziate le seguenti lacune nella ricerca:

- non sono disponibili modelli numerici per la simulazione di impatti di masse di terra in corpi d’acqua con numero di Froude di impatto  $F > 1$ , tipico di eventi in bacini Alpini;
- l’effetto della velocità di impatto e del numero di Froude della frana sulle principali caratteristiche dell’onda;
- effetto della forma della massa impattante sulle principali caratteristiche dell’onda;
- i modelli utilizzati producono risultati contrastanti riguardo l’effetto della variazione dell’angolo di piede di pendio;
- l’evoluzione temporale dello spostamento di acqua e il massimo spostamento di volume di acqua prodotto dall’impatto;
- l’evoluzione temporale dello spostamento subacqueo della frana;
- l’effetto della deformabilità della frana;
- le velocità delle particelle d’acqua nell’area di generazione dell’onda.

#### *Obiettivi dello studio*

Ovviamente non tutte le lacune possono essere colmate in un singola attività di ricerca. L’attenzione di questo lavoro è focalizzata sull’analisi numerica dell’impatto di frane esterne al pelo libero con numero di Froude  $0,1 > F > 6$ , sulla conseguente generazione di un’onda impulsiva e sulla sua propagazione, eventi tipici in aree fortemente scoscese come coste in pendio, dighe e laghi alpini. Studi di questo tipo sono stati effettuati in passato quasi esclusivamente tramite modelli fisici in scala ridotta data la scarsa diffusione di modelli numerici dettagliati come quello presentato nel capitolo 4.

Il fenomeno reale comprende tre fasi, solida del materiale di frana, liquida del corpo idrico e gassosa dell’aria circostante. Nelle simulazioni presentate nei prossimi paragrafi il materiale di frana è schematizzato con un liquido. Per tenere conto della struttura granulare del materiale di frana si è impostata una frazione di volume di aria variabile tra il 10 % e il 15 % nel materiale di frana. In questo modo il fluido che schematizza la frana contiene al suo interno dei “vuoti”, cioè degli spazi interstiziali pieni di aria (Figura 0-8).

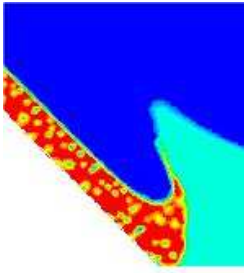


Figura 0-8: “Vuoti” contenuti all’ interno della frana

L’attenzione è focalizzata in particolare su:

- l’effetto della velocità della frana al momento dell’impatto spesso caratterizzata tramite il numero di Froude d’impatto definito come  $F = \frac{v_s}{\sqrt{gh}}$ ;
- il movimento subacqueo della frana e la sua deformazione;
- il trasferimento di energia dalla massa franosa al corpo idrico e le perdite
- lo spostamento d’acqua;
- l’eventuale separazione del flusso;
- la formazione e lo sviluppo del cratere idrodinamico d’impatto;
- le macrostrutture fluidodinamiche;
- la propagazione dell’onda.

Negli studi futuri rimangono da valutare i seguenti punti:

- l’angolo del piano inclinato è costante in tutte le simulazioni e pari a 45°. Non è dunque analizzato l’effetto della variazione di angolo di fondo pendio sui parametri dell’onda;
- si considera solamente una densità tipica delle formazioni naturali di rocce. Non si considerano densità più basse tipiche ad esempio di valanghe;
- il materiale di frana è schematizzato come fluido, dunque non si considera la natura solido-granulare del terreno.

### **Calibrazione e validazione**

#### *Introduzione*

Considerando che un modello di calcolo, anche dettagliato, è solo una rappresentazione esemplificata del sistema fisico reale, i risultati numerici di una simulazione sono solo un’approssimazione del fenomeno reale e il fatto che la simulazione raggiunga la convergenza non è condizione sufficiente per dire che la soluzione sia quella esatta. La validazione del modello di calcolo è, dunque, uno step necessario nello sviluppo del modello stesso, per stabilirne la validità e l’accuratezza. La cieca accettazione di risultati ottenuti con un modello numerico, infatti, non è una base adatta per prendere decisioni su fattori di rischio, soprattutto nel caso in cui non si tratti solo di rischio finanziario ma anche e soprattutto di rischio di vite umane, come nel caso di modelli utilizzati per la ricostruzione di scenari di rischio idrogeologico.

La validazione di un modello può essere fatta:

- su problemi molto semplici di cui sia nota la soluzione analitica, confrontando i risultati ottenuti con il modello con la soluzione esatta;
- su problemi complessi, come la generazione e la propagazione di onde impulsive, confrontando i risultati numerici con dati sperimentali.

Nel secondo caso occorre dunque effettuare una sperimentazione “ad hoc” oppure reperire in letteratura dati sperimentali relativi ad un caso reale simile al problema che si vuole studiare, come in questo studio di tesi.

La fase di validazione è generalmente preceduta da una fase di calibrazione o *updating* del modello necessaria per individuare il valore di costanti e parametri incogniti del modello.

Nel caso in cui i risultati numerici siano lontani da quelli sperimentali, l’obiettivo è quello di individuare sia nel modello che nella sperimentazione (anch’essa non esente da incertezza) le possibili sorgenti di errore ed eventualmente modificare il modello di conseguenza.

E’ importante sottolineare, inoltre, che le fasi di calibrazione e di validazione devono avvenire su casi di test vicini ai casi reali sui quali si vuole applicare il modello e che anche dopo un’accurata fase di calibrazione e di validazione, lo strumento numerico non è esente da incertezza.

#### *Analisi PIV di onde impulsive generate da frana*

La problematica di onde impulsive generate da frane è stata studiata, nel caso di seguito illustrato, da Hermann Fritz ricercatore del *Swiss Federal Institute of Technology* di Zurigo che ha condotto delle analisi sperimentali presso il laboratorio VAW di Idraulica, Idrologia e glaciologia ([11], [12], [10]).

Per la misura del flusso estremamente non stazionario è stata utilizzata una strumentazione PIV (*large scale digital particle image velocimetry*) e un LSV (*laser speckle velocimetry*), sono state considerate tre fasi: materiale di frana di tipo granulare, aria ed acqua. L’area di interesse studiata nel fenomeno di generazione dell’onda è pari a  $0,8 \times 0,8 \text{ m}^2$ . Il layout del sistema sperimentale utilizzato è illustrato in Figura 0-9.

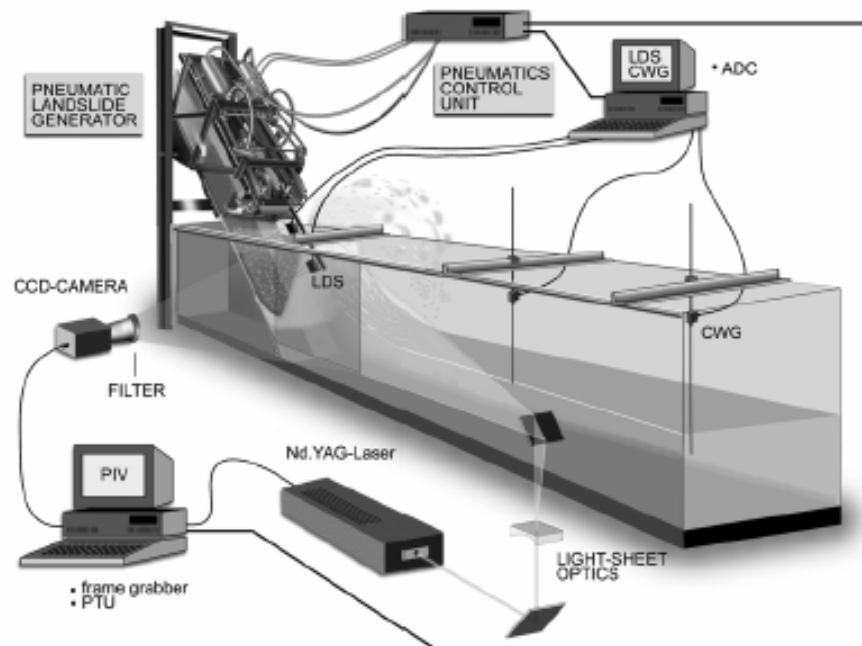


Figura 0-9: Set up. Sono presenti tre sistemi di misura: LDS (laser distance sensors), CWG (capacitance wave gages) PIV (particle image velocimetry). [12].

Nella prima fase di generazione di onda impulsive sono presenti complessi fenomeni di flusso quali:

- impatto ad alta velocità del materiale di frana,

- trasferimento di energia dalla massa impattante all'acqua;
- separazione e riattaccamento del flusso;
- formazione della cavità e collasso;
- deformazione della frana e penetrazione nel fluido.

Nel corso di questa primo step le tre fasi sono separate da una netta interfaccia e variano in maniera significativa con lo spazio ed il tempo.

#### Modello fisico

Il modello riproduce il fenomeno di impatto alta velocità di un frana con un corpo idrico. Si considera un modello di similitudine geometrica non distorta di Frode [23].

Caratteristiche dell'esperimento:

- canale (Figura 0-10) a forma di prisma a base rettangolare ( $L \times W \times H$ : 11 m, 0.5 m, 1 m);
- pendenza del piano di scivolamento è pari a  $45^\circ$  ;
- profondità dell'acqua in condizioni indisturbate  $300 < h < 675$ ;
- la frana è stata modellata (Figura 0-11) con un materiale granulare artificiale (PP-BaSO<sub>4</sub>) di diametro medio di 4 mm . Il materiale granulare è formato 87 % Bario-Solfato composto con un 13 % di Polipropilene, la densità ( $\rho_s$ ) è pari a  $2,64 \text{ g/cm}^3$  e la granulometria è tipica delle formazioni delle rocce naturali;

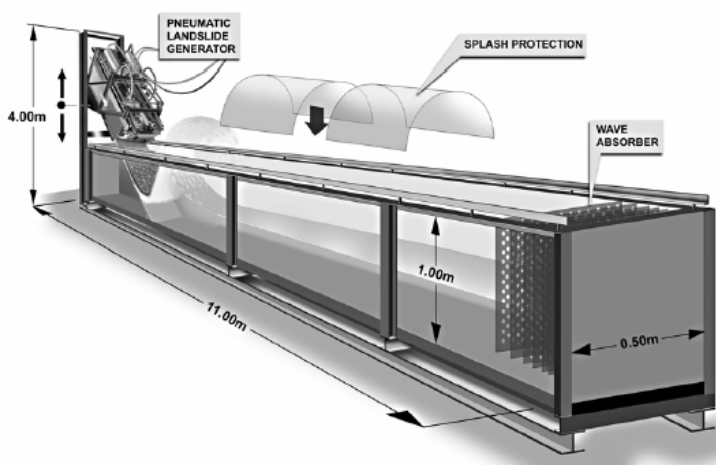


Figura 0-10: Descrizione e principali dimensioni del canale. ([10]).

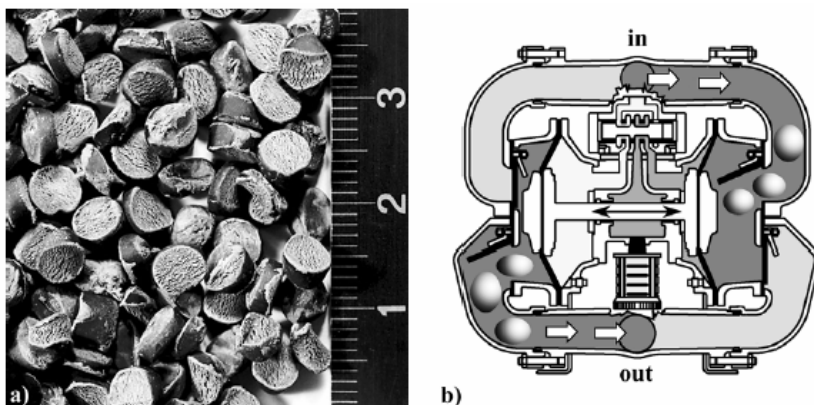


Figura 0-11: a) Materiale della frana : PP-BaSO<sub>4</sub> granulare con diametro dei grani  $d_g = 4\text{mm}$ , densità dei grani  $\rho_g = 2.64 \text{ t/m}^3$ ,

porosità  $n = 39\%$  densità della frana  $\rho_s = 1.62 \text{ t/m}^3$ ; b) pompa d'aspirazione lungo un ciclo con la camera sinistra di scarico e la camera di destra di aspirazione [10].

Le caratteristiche della massa che impatta sono controllate per mezzo di un meccanismo d'accelerazione pneumatico ([11], [12], [10]), in maniera tale da poter avere l'esatta riproduzione e la variazione indipendente dei singoli parametri dinamici della frana. Ad esempio per una massa di 108 kg si raggiungono velocità superiori a 8 m/s. Grazie al generatore pneumatico di frana (Figura 0-12) è possibile studiare gli effetti della massa della frana, della forma e della velocità d'impatto con un ampio spettro del numero Froude di impatto ( $0.8 < F < 6$ ).

I complessi fenomeni che avvengono durante la fase iniziale della generazione di un'onda impulsiva, associati a processi estremamente non stazionari sono illustrati in Figura 0-13. la separazione del flusso dietro al frana crea una grande cavità che può superare il volume della frana stessa., le tre fasi (terra, aria, acqua) sono ancora evidenti, in seguito al collasso della cavità e all'arretramento del materiale granulare produce un consistente mescolamento di acqua e aria. I campi di flusso, le superfici delle fasi, la frazione di vuoti cambiano completamente nell'arco di pochi millisecondi e mettono alla prova le tecniche di misura.

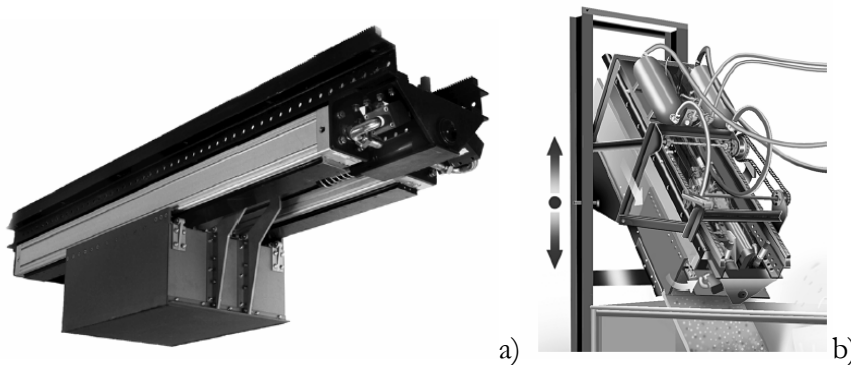


Figura 0-12 a) Meccanismo pneumatico di accelerazione della frana  
b) Generatore pneumatico di frana, la paratia si apre in fase di accelerazione e rilascio della frana. [10].



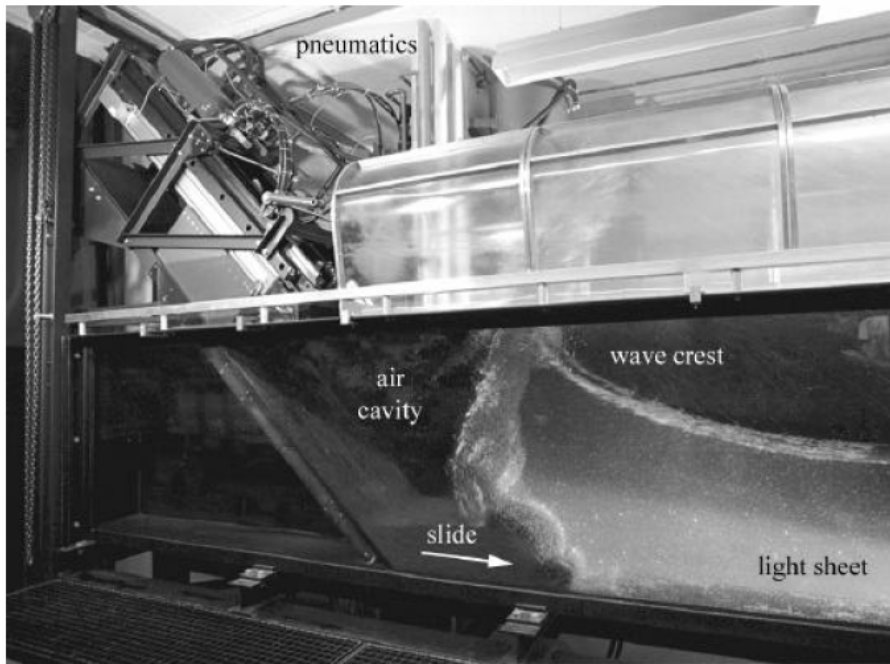


Figura 0-13: Esperimento :  $F = 3.3$  ,  $v_s = 7$  m/s,  $m = 108$  kg,  $h = 0.45$  m,  $\alpha = 45^\circ$ . [10]

### *Analisi numerica*

#### Geomateria

Lo schema geometrico utilizzato è illustrato in figura

Figura 0-14., mentre in Tabella 0-3 sono elencati i principali parametri di input. La griglia di calcolo, illustrata in Figura 0-15 è costituita da 17731 nodi e 35024 elementi triangolari con dimensione caratteristica minima di 8 mm e dimensione caratteristica massima di 30 cm. La funzione di infittimento della griglia è stata realizzata in modo da avere elementi più piccoli in prossimità delle interfacce fra fluidi diversi, del fondo del piano di scivolamento e della prima parte del fondo del canale.

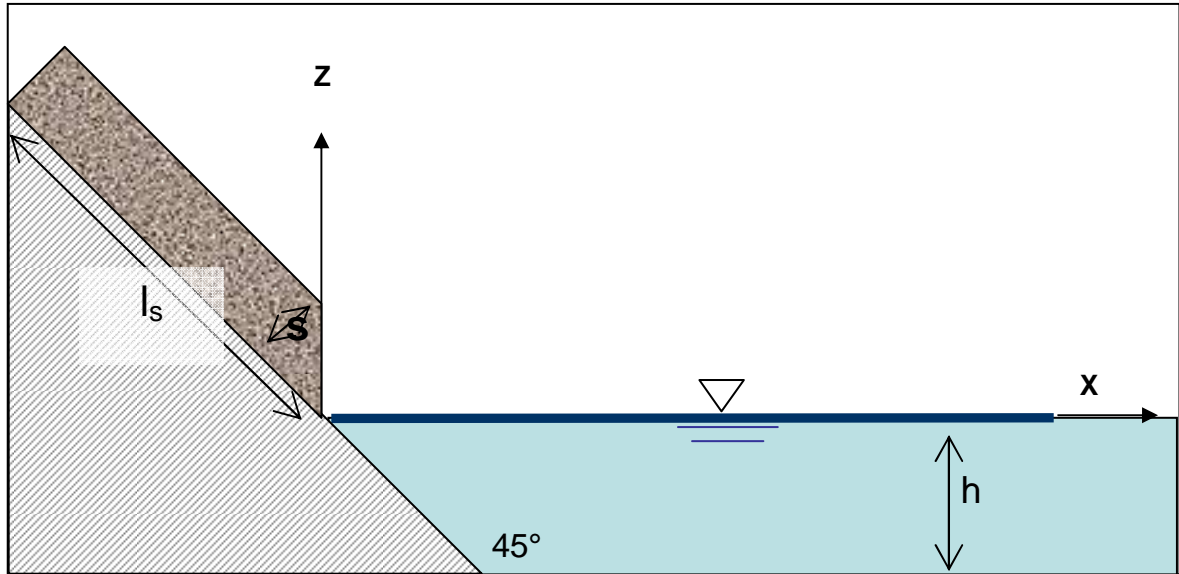


Figura 0-14: Schema geometrico utilizzato nella validazione.

Simbolo	Valore	Descrizione
$b$	1 m	Larghezza della frana
$l_s$	1,80 m	Lunghezza frana
$s$	1,20 m	Spessore frana
$\alpha$	45°	Angolo de piede di pendio di slittamento
$h$	0,45 m	Tirante idrico in condizioni iniziali
$F$	3,38	Numero di Froude di impatto
$\alpha_{frana}$	0,92	Frazione di volume iniziale di liquido nella frana
$g$	9,81 m/s <sup>2</sup>	Accelerazione di gravità
$v_s$	6,68 m/s	Velocità d'impatto della frana
$\rho_s$	2700 kg/m <sup>3</sup>	Densità frana
$\rho_w$	998,2 kg/m <sup>3</sup>	Densità acqua

Tabella 0-1: Principali parametri nella simulazione numerica

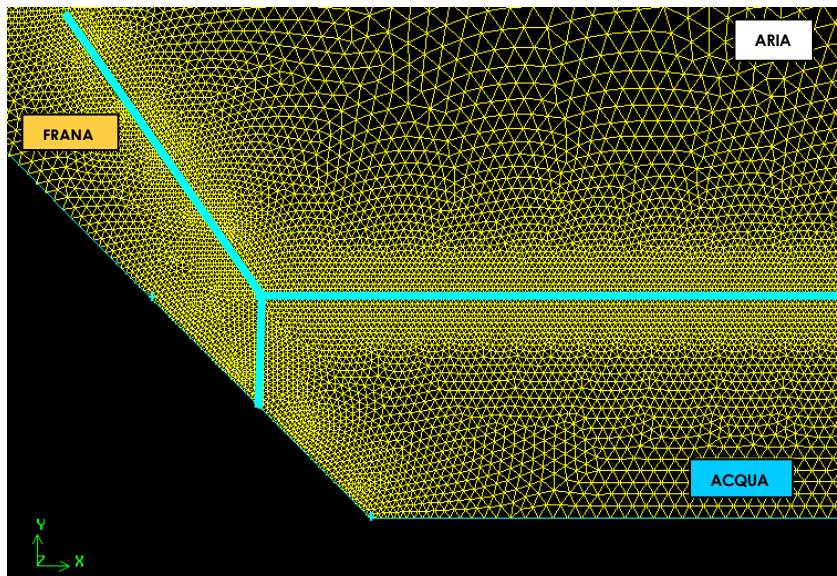


Figura 0-15: griglia di calcolo

*Confronto dei risultati*

Nella Figura 0-16 è mostrata la sequenza del campo delle velocità PIV di due esperimenti di impatti di masse granulari sincronizzati, sovrapposti e montati come unica immagine PIV. I principali parametri utilizzati nella simulazione sono riportati in

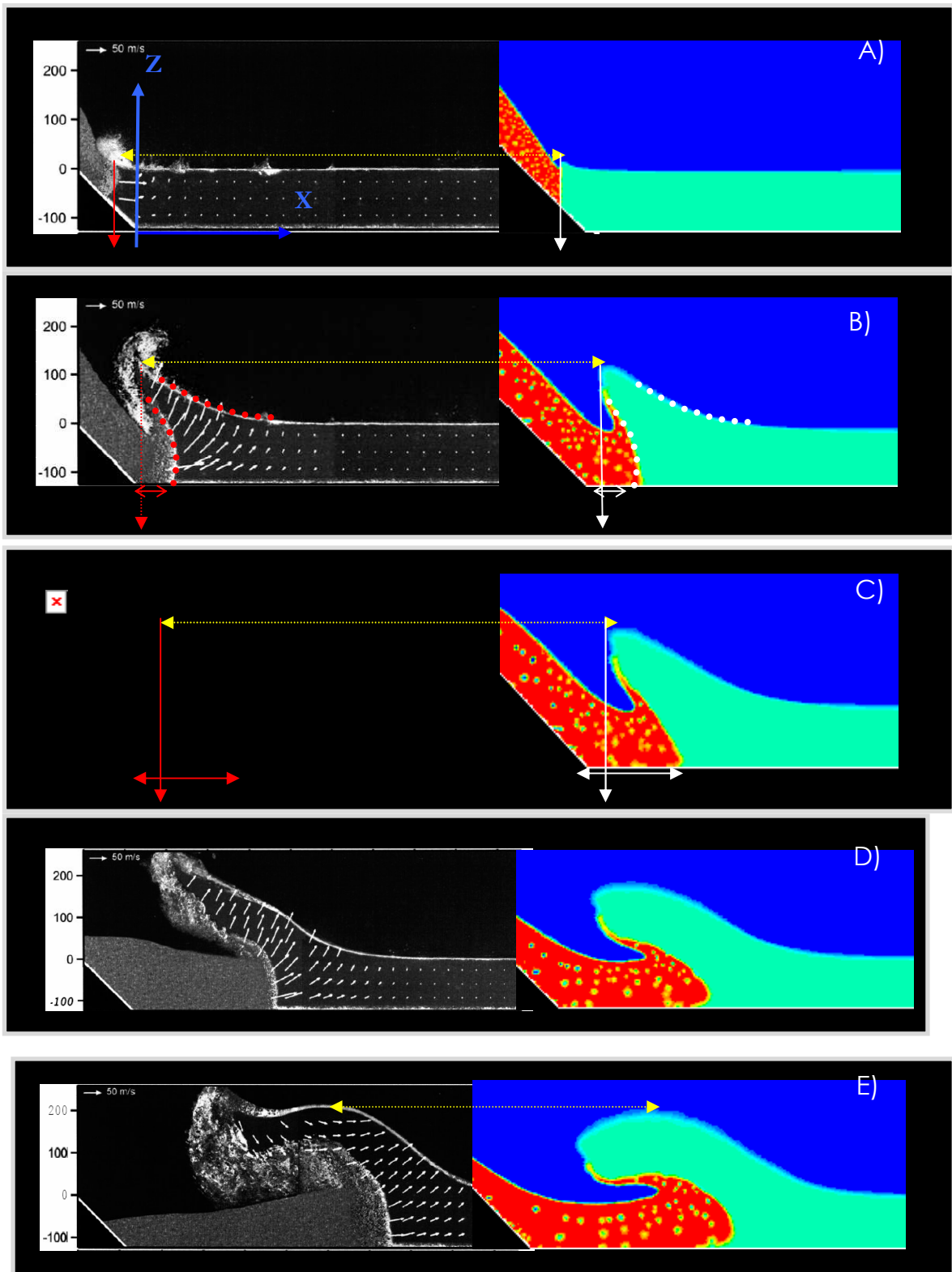
Simbolo	Valore	Descrizione
b	1 m	Larghezza della frana
$l_s$	1,80 m	Lunghezza frana
s	1,20 m	Spessore frana
$\alpha$	45°	Angolo de piede di pendio di slittamento
h	0,45 m	Tirante idrico in condizioni iniziali
F	3,38	Numero di Froude di impatto
$\alpha_{frana}$	0,92	Frazione di volume iniziale di liquido nella frana
g	9,81 m/s <sup>2</sup>	Accelerazione di gravità
$v_s$	6,68 m/s	Velocità d'impatto della frana
$\rho_s$	2700 kg/m <sup>3</sup>	Densità frana
$\rho_w$	998,2 kg/m <sup>3</sup>	Densità acqua

Tabella 0-1.

La sequenza inizia al tempo  $t = 0,05$  s dopo l'impatto della massa con l'acqua e continua con un intervallo temporale di 0,10 s coprendo all'incirca un intervallo di 0,90 secondi (Tabella 0-2).

Per un flusso estremamente non stazionario il maggior vantaggio dell'uso della PIV consiste nella capacità di quantificare istantaneamente la macrostruttura del processo di flusso

coprendo una estesa area di interesse. Il campo vettoriale istantaneo delle velocità permette la valutazione del trasferimenti di energia cinetica che causa il processo di generazione dell'onda.



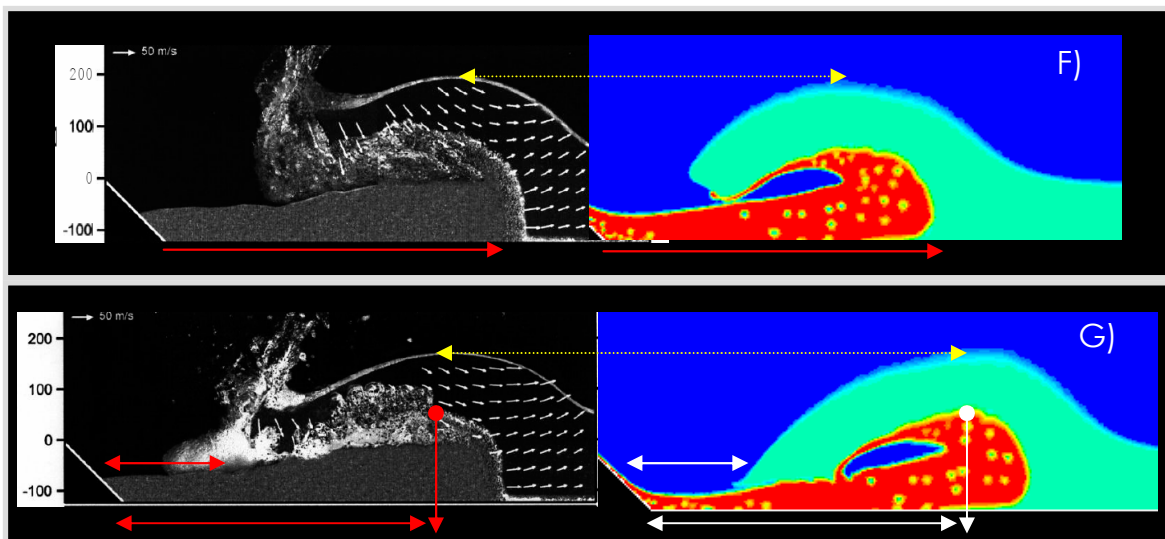


Figura 0-16: Validazione del modello fluidodinamica, confronto tra i valori PIV sperimentali (in bianco e nero a sinistra) ed i risultati numerici (a colori a destra).

Sequenza	Time step
A	0,05
B	0,15
C	0,25
D	0,36
E	0,67
F	0,77
G	0,88

Tabella 0-2: Intervalli temporali della sequenza di calcolo.

La simulazione numerica mostra l'andamento della densità all'avanzare del tempo. L'accordo fra le immagini sperimentali e quelle numeriche è molto buono. Si considera, per meglio paragonare i risultati, un sistema di riferimento relativo con l'asse x diretto come il fondo del canale, l'asse z in direzione perpendicolare ed origine al piede del piano inclinato.

Il processo completo può essere suddiviso in due fasi principali:

- 1)
  - All'istante 0,7 s dopo l'impatto: impatto della frana e penetrazione. Il punto di collisione tra frana e corpo idrico, come mostrato in Figura 0-16 -A), ha praticamente le stesse coordinate spaziali relative dunque quota e spostamento lungo il piano orizzontale;
  - Separazione del flusso, Figura 0-16 B). I risultati concordano in termini di altezza d'onda, spostamento della frana lungo il piano orizzontale, forma dell'interfaccia acqua – frana e forma dell'onda;
  - Formazione della cavità. La velocità di penetrazione della frana supera la velocità di propagazione dell'onda, Figura 0-16 C) D); anche in questo caso l'istante della formazione della cavità e la forma sono concordanti;
- 2)

- Collasso della cavità, Figura 0-16 E) F); anche in questo caso i risultati numerici sono in buon accordo con quelli sperimentali, tranne l'altezza del materiale di frana è leggermente sottostimata;
- *Run out* lungo il fondo del canale ed arretramento della frana. L'onda sorpassa il materiale di frana e si propaga fuori dall'area di impatto; in Figura 0-16 G) è mostrato come ben si accordino i valori di: distanza della cresta d'onda collassata dal piano inclinato, quota del cratere e l'altezza d'onda.

Le tre fasi, solida liquida e gas, sono chiaramente separate lungo netti contorni prima che avvenga il riattaccamento del flusso (Figura 0-16 F). Il riattaccamento del flusso intrappola un grosso volume di aria nel dorso della massa di frana (Figura 0-16 G). Il fronte della frana forma un muro quasi verticale con massima altezza al collasso della cavità (Figura 0-16 E).

Da questo momento in poi lo spessore del fronte della frana decade con la fase di *run out* della frana.

## Risultati

### *Movimento subacqueo della frana*

#### Impatto e deformazione della frana

Al momento dell'impatto e durante il suo moto subacqueo, a causa della resistenza prodotta dal copro idrico, la frana si deforma. Per illustrare nel dettaglio un possibile meccanismo di deformazione della frana è stata effettuata una simulazione numerica con numero di Froude di impatto della frana pari a 1, altezza del tirante idrico pari a 0.45 m e pendio di scivolamento inclinato di 45° rispetto all'orizzontale. La griglia di calcolo, illustrata in Figura 0-17, è costituita da 5729 nodi e 11230 elementi triangolari con dimensione caratteristica minima di 15 mm e dimensione caratteristica massima di 30 cm. La funzione di infittimento della griglia è stata realizzata in modo da avere elementi più piccoli in prossimità delle interfacce fra fluidi diversi, del fondo del piano di scivolamento e della prima parte del fondo del canale. Le condizioni al contorno sono:

- condizione di aderenza alla parete (*no-slip*) nel piano di scivolamento e nel fondo del canale con scabrezza pari a 10 mm e costante di scabrezza pari a 0.5;
- flusso aperto (*outflow*) nelle sezioni di uscita e di copertura.

I parametri principali della simulazione sono riassunti in Tabella 0-3.

Simbolo	Valore	Descrizione
b	1 m	Larghezza della frana
$l_s$	1,28 m	Lunghezza frana
s	0,22 m	Spessore massimo della frana
$\alpha$	45°	Angolo de piede di pendio di slittamento
H	0.45 m	Tirante idrico in condizioni iniziali
F	1	Numero di Froude di impatto
$\alpha_{frana}$	0.92	Frazione di volume iniziale di liquido nella frana
$\rho_s$	2600 kg/m <sup>3</sup>	Densità frana
$\rho_w$	998 kg/m <sup>3</sup>	Densità acqua

Tabella 0-3: Parametri principali della simulazione.

La Figura 0-18 mostra una sequenza di immagini risultanti dalla simulazione numerica. In particolare si evidenzia:

- un allargamento del fronte;
- un aumento dello spessore medio con diminuzione progressiva dello spessore dal fronte alla coda; lo spessore massimo cresce fino a 6 volte lo spessore iniziale ;
- riduzione della lunghezza; in particolare nella sequenza di Figura 0-18 la lunghezza della frana si è praticamente dimezzata prima di aver percorso un terzo del piano inclinato subacqueo;
- il fronte della frana assume la forma di una lingua allungata che segue la cresta dell'onda con parziale trasporto del materiale franoso;
- nel caso mostrato nella sequenza di Figura 0-18 il cratere idrodinamico prodotto dall'impatto si richiude su se stesso e la frana tende ad allungarsi anche oltre la sua lunghezza originaria; questo avviene solo in caso di flusso separato, come sarà meglio illustrato nel seguito.

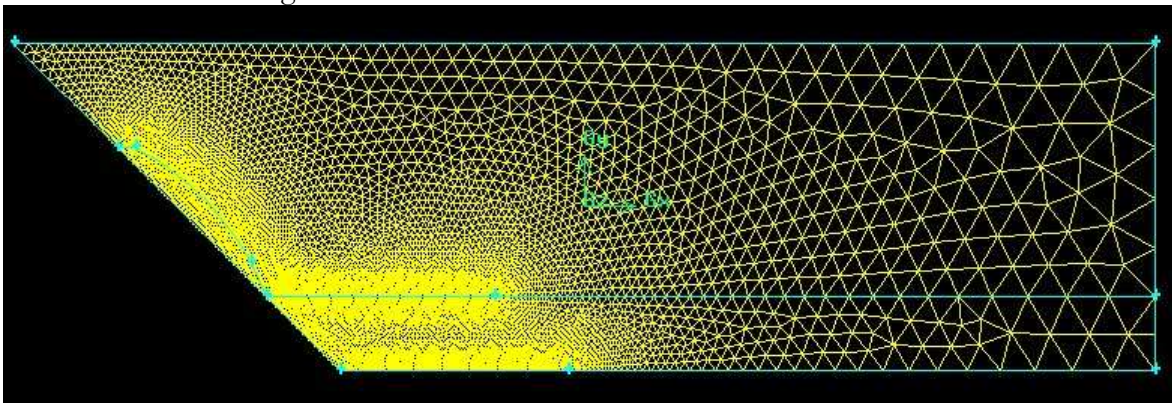


Figura 0-17: Griglia di calcolo.

Dato che una delle ipotesi del modello VOF è l'immiscibilità dei fluidi, il fenomeno di mescolamento delle tre fasi (solida, liquida e gassosa) in coda alla frana, illustrato nell'immagine sperimentale di Figura 0-19, non è evidenziato dalle simulazioni. Ad ogni modo tale mescolamento è intuibile anche dalle simulazioni numeriche dove è evidente il trasporto del materiale di frana dal fronte verso la coda per effetto del sollevamento dell'acqua (Figura 0-18).

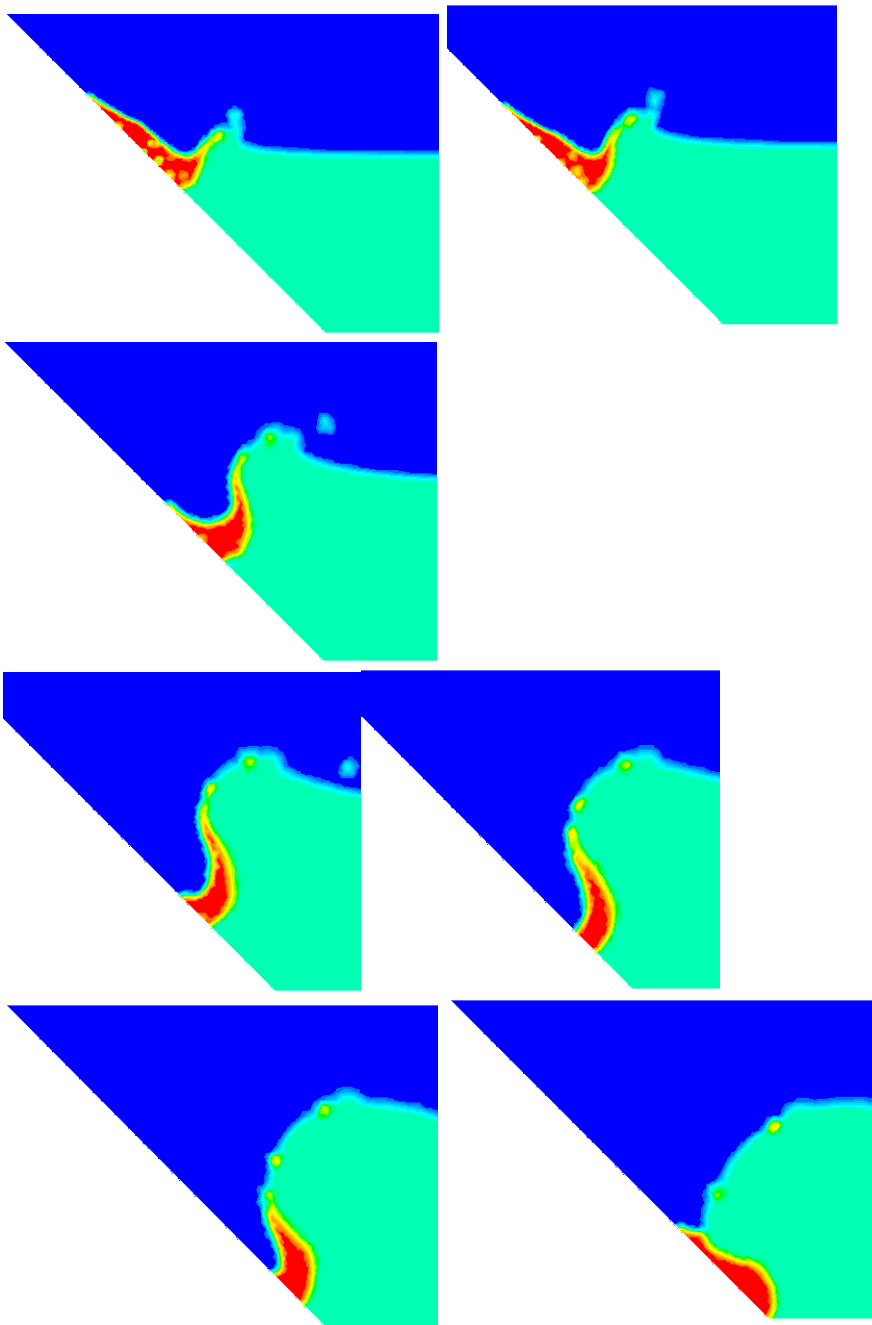


Figura 0-18 Sequenza di immagini di una frana che dopo l'impatto penetra nel copro idrico; caso di onda con cratere idrodinamico a chiusura all'indietro.



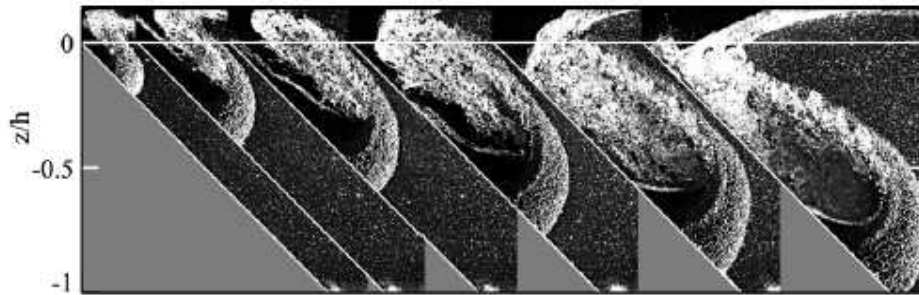


Figura 0-19 Sequenza di immagini sperimentali di una frana che penetra in acqua. E' evidente la deformazione della frana e il mescolamento delle fasi in coda, non riproducibile con il modello VOF.

### Generazione dell'onda

Le onde impulsive sono generate da un rapido o impulsivo trasferimento della quantità di moto dalla massa impattante al corpo idrico. La frana può essere assimilata ad un oggetto in movimento che perturba il corpo idrico. La durata e l'intensità di tale perturbazione dipendono dalle caratteristiche fisiche e cinematiche della frana. Per quanto riguarda la dinamica del fenomeno, la frana è guidata dalla sola forza di gravità e rallentata dall'attrito con il terreno durante lo scivolamento. Le forze esercitate dalla frana sul corpo idrico possono schematizzarsi in tre componenti:

- la forza d'inerzia che produce lo spostamento d'acqua;
- la pressione;
- la viscosità.

Non tutta l'energia cinetica della frana è trasferita al corpo idrico. Parte di essa, infatti, si perde per attrito nella fase di scivolamento (Figura 0-20), per trasferimento di quantità di moto nell'urto della massa franosa con il fondo del canale (Figura 0-20) e nello scorrimento successivo, per le perdite dovute all'attrito tra materiale di scivolamento e il fondo del canale (Figura 0-20).

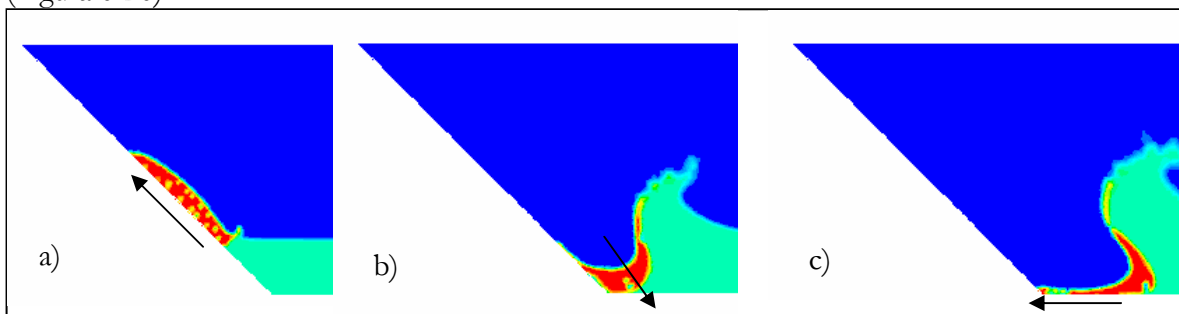


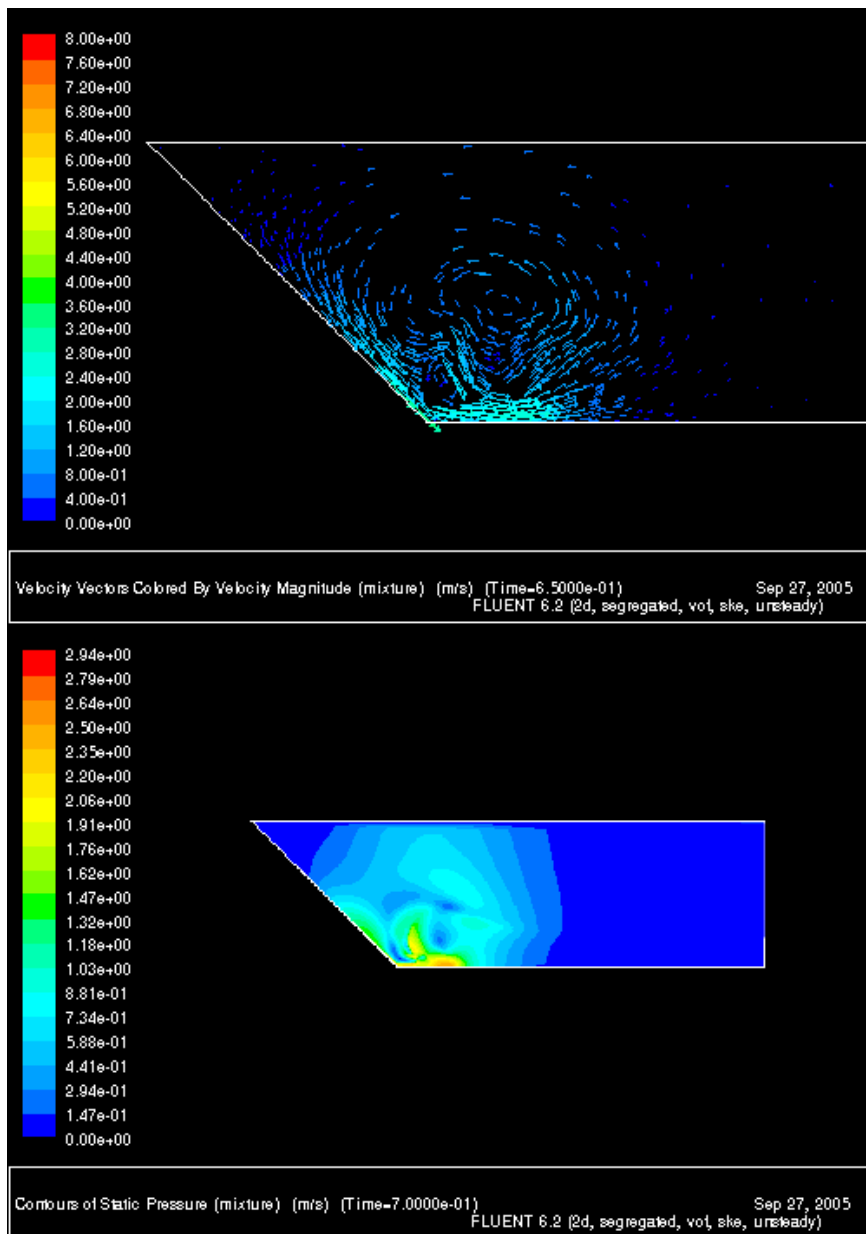
Figura 0-20: Perdite: a) per attrito in fase di scivolamento, b) trasferimento della quantità di moto nell'urto c) per attrito nello scorrimento con il fondo del canale.

Dunque:

- parte dell'energia della frana "esce" dal sistema o è perduta in deformazioni interne della frana;
- parte dell'energia si trasforma in energia potenziale gravitazionale dal momento che una certa massa d'acqua si alza sopra al tirante idrico in condizioni indisturbate;

- parte dell'energia si trasforma in energia cinetica dell'acqua, visibile attraverso la visualizzazione del campo di moto.

Mentre una misura diretta delle diverse componenti è difficile, la simulazione dettagliata attraverso un modello completo Navier-Stokes permette di visualizzare i singoli effetti attraverso l'evoluzione temporale del capo di moto (Figura 0-21 a), del campo di pressione (Figura 0-21 b), che dà informazioni importanti sulla forza di pressione agente sulla massa franosa, e delle fasi/componenti, visualizzate in Figura 0-21 c, attraverso il campo di densità, fattore discriminante fra aria, acqua e massa detritica.



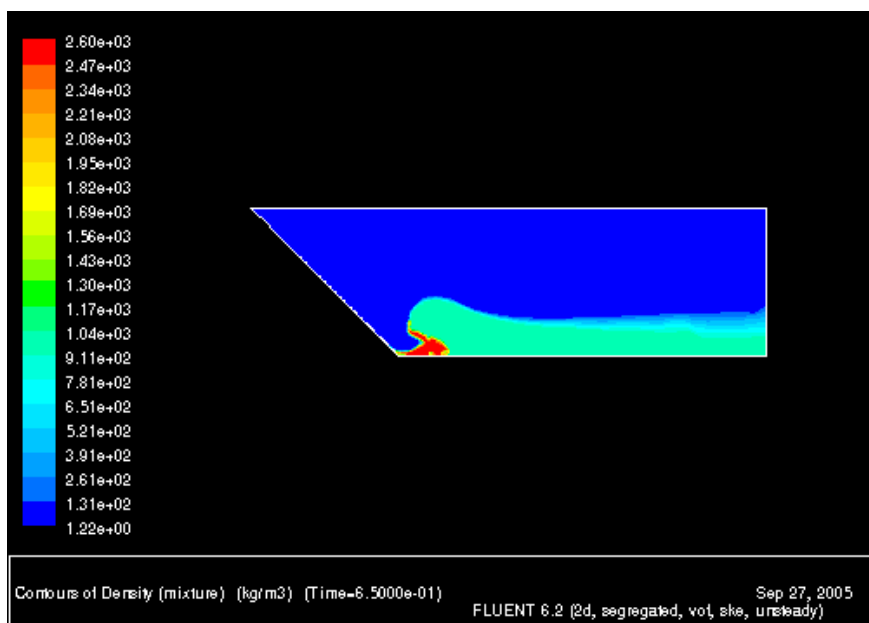


Figura 0-21: Visualizzazione del campo di moto (a), del campo di pressione (b) e del campo di densità (c) con il codice di calcolo fluidodinamico.

### *Separazione del flusso*

Quando la frana scivola in un corpo idrico siamo in presenza di un movimento relativo tra un oggetto e un fluido. Nel caso studiato la frana è l'oggetto in movimento e l'acqua circostante il fluido. L'interazione fra la massa franosa e l'acqua, sotto certe condizioni, può portare alla separazione del flusso.

È noto in generale, che il flusso tende a separare quando i gradienti di pressione avversi sono elevati o si è in presenza di forti curvature della superficie. In queste condizioni, gli strati limite sia laminari che turbolenti, tendono a separarsi dalle pareti. Per chiarire il fenomeno della separazione è importante l'interpretazione energetica del teorema di Bernoulli. In un fluido ideale lungo il contorno di un profilo si ha prima una trasformazione di energia potenziale (di pressione) in energia cinetica dal punto di ristagno anteriore al punto di massima velocità; da questo punto segue la trasformazione inversa di energia cinetica in energia di pressione. In un fluido reale interviene la viscosità e quindi l'attrito come fattore dissipativo, quindi una parte dell'energia cinetica viene impiegata per compiere lavoro contro di esso e non è più possibile ottenere la trasformazione inversa completa ovvero il recupero totale di pressione. Possiamo immaginare che la particella fluida ancor prima di raggiungere il bordo di uscita, si fermi in una certa posizione. La particella, ormai inerte perché priva di energia cinetica, sotto l'azione dei gradienti avversi, ritorna indietro venendo in collisione con le particelle ancora dotate di energia. Si verifica così un complesso fenomeno di campo inverso e di mescolamento, ed a regime, il campo di moto assume la forma di Figura 0-22. Come risultato finale si verifica una separazione della corrente, con la formazione di una scia turbolenta, presente nelle parti poppiere dei corpi. Questo distacco della vena, con la conseguente mancanza di recupero totale di pressione, origina la resistenza di scia

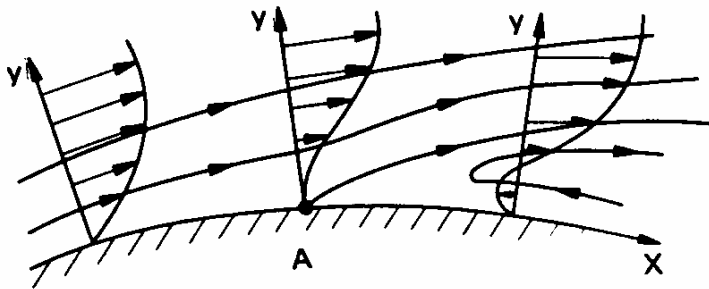


Figura 0-22: Schematica rappresentazione della separazione del flusso

Rispetto alla separazione del flusso in generale, di cui c'è un'ampia letteratura [49], nel nostro caso la situazione è più complessa a causa della presenza di due fasi liquide, acqua e massa franosa, schematizzata come liquido, e una fase gassosa, aria.

Il fenomeno della separazione nel problema in esame è relativo al distacco della vena liquida dalla frana. Questa definizione permette di classificare le simulazioni condotte in flussi separati e non separati attorno alla frana in penetrazione. In Figura 0-23 sono illustrati due casi tipici di flusso separato e non separato, in cui la sola differenza significativa è il numero di Froude d'impatto. E' ovvio che la transizione fra il caso di un flusso non separato e un flusso separato comprende casi con brevi separazioni e immediati riattacchi. Una piccola separazione al momento dell'impatto può avvenire anche per velocità di impatto basse.

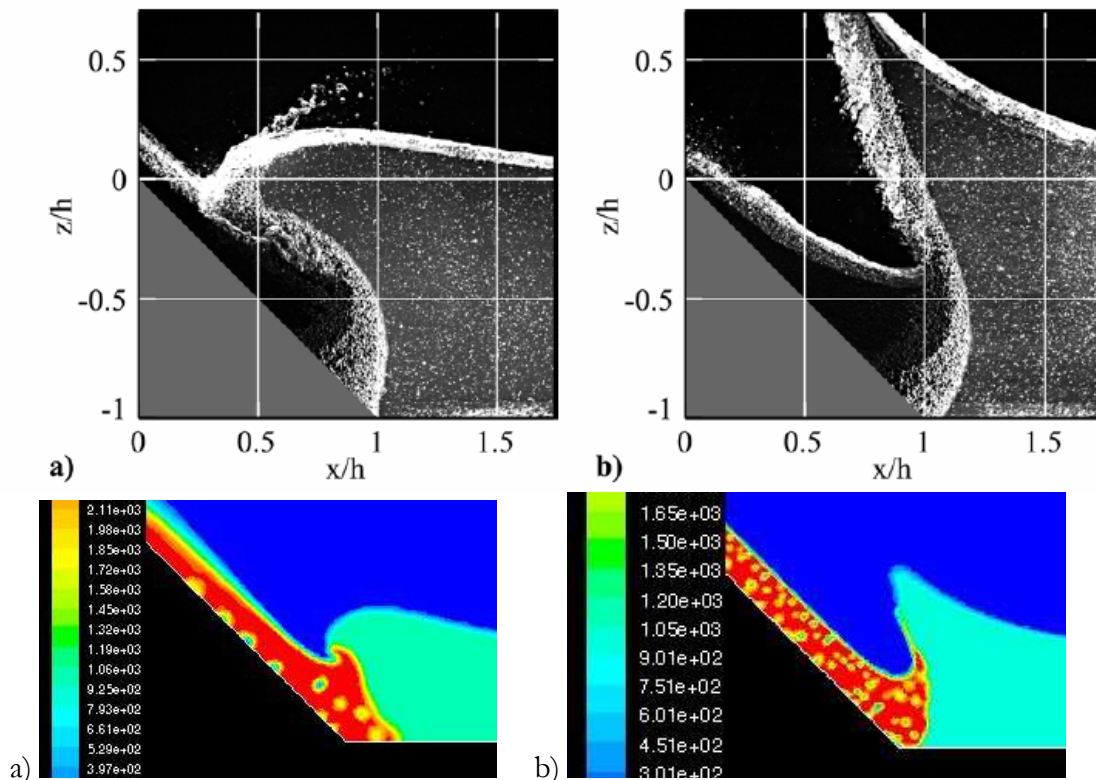


Figura 0-23: Separazione del flusso sul piano inclinato, immagini dell'esperienza e della simulazione numerica a) flusso non separato; b) flusso separato.

La separazione del flusso ha forte influenza anche nello spostamento del volume del fluido. Il volume d'acqua spostato in corrispondenza di una bassissima velocità d'impatto della frana,  $F \ll 1$ , si avvicina asintoticamente al volume del materiale franoso immerso. Le differenze sono dovute essenzialmente al leggero distacco in coda alla frana e all'interfaccia fra la testa della frana e l'acqua.

Il distacco della vena d'acqua dal corpo di frana porta alla formazione del cosiddetto "cratere idrodinamico d'impatto" (*hydrodynamic impact crater*), che contiene aria e separa la massa franosa dalla massa d'acqua.

Il volume d'acqua spostato (Figura 0-24) è superiore al volume del materiale di frana e lo è tanto di più quanto più alta è la velocità d'impatto. Il volume totale del cratere corrisponde alla combinazione del volume di aria e terra al di sotto la superficie dell'acqua in condizioni indisturbate. In Figura 0-24 è illustrata la definizione del volume  $V_d$  di acqua spostata.

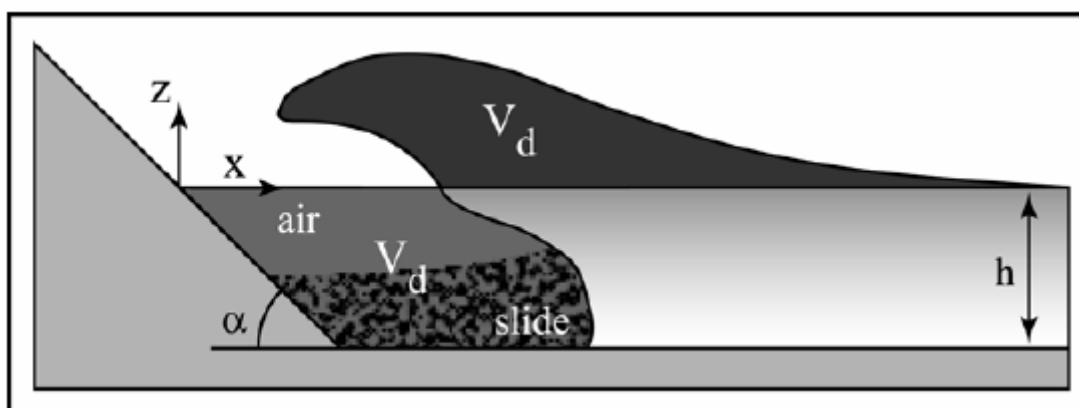


Figura 0-24: Spostamento del volume d'acqua  $V_d$ , il relativo volume del cratere d'impatto ed il volume d'acqua sotto la gobba sopra al livello di pelo libero in condizioni indisturbate.

Nell'analisi sperimentale citata si è utilizzato il numero di Froude come parametro di classificazione e nella sua sperimentazione ha osservato che la separazione avviene sempre per  $F > \left( \frac{5}{3} + \frac{1}{2} S \right)$ , dove  $S$  è lo spessore relativo di frana, definito come il rapporto fra lo

spessore medio di frana e il tirante idrico. Questo è confermato dalle simulazioni fluidodinamiche. È importante sottolineare, però, che nulla si può dire per numeri di Froude inferiori. Dalle simulazioni si è osservato, infatti, che il numero di Froude da solo non permette di distinguere fra flussi separati e non separati. Sul fenomeno intervengono anche altri fattori come la forma e lo spessore della frana, soprattutto nella testa, che ne determina il coefficiente di penetrazione, e il tirante idrico. La stessa formula proposta da Fritz comprende lo spessore della frana e in base ad essa per frane più spesse sono richiesti più alti numeri di Froude per avere separazione.

I risultati di osservazioni sperimentali ([11], [12], [10]), relative alla dipendenza della separazione e del cratere idrodinamico d'impatto dal numero di Froude sono illustrate in Figura 0-25.

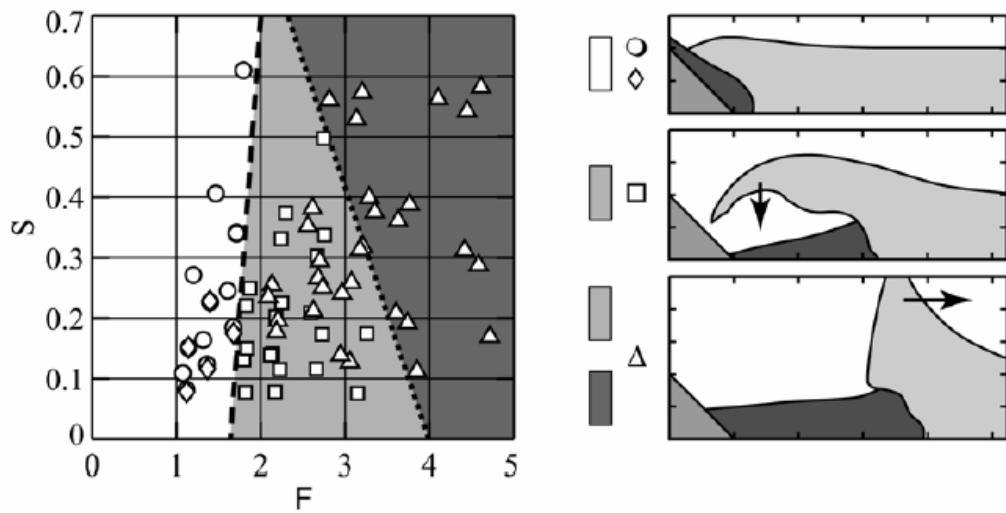


Figura 0-25: Separazione del flusso e formazione di cratere: x = numero di Froude y = spessore della frana. (◊) separazione di flusso locale (◻) ([11], [12], [10]).

*Simulazione con  $F \ll 1$ : flusso non separato*

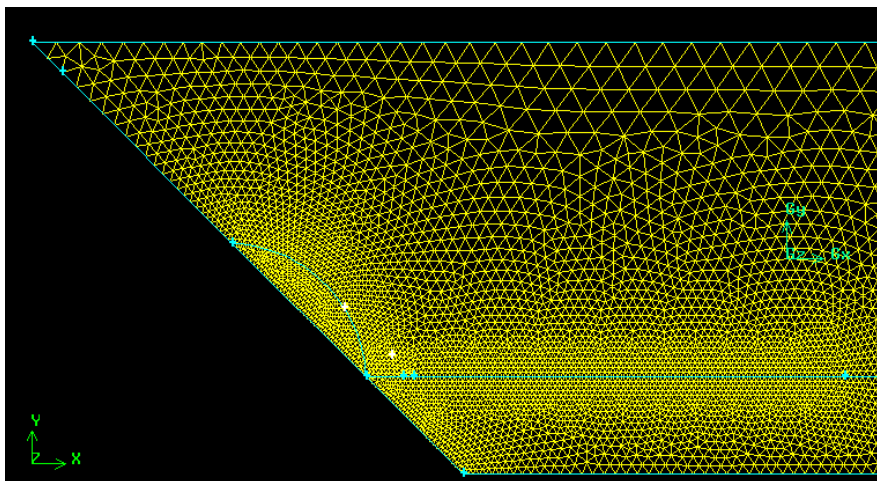


Figura 0-26: Griglia di calcolo.

n° Celle	n° Nodi	Dimensione celle
8828	4524	2 cm < d < 30 cm - crescita: 8%

Simbol	Valore	Descrizione
$l_s$	970m	lunghezza frana
s	120 m	spessore frana
$\alpha$	45°	angolo de piede di pendio di risalita

$h$	0,45 m	tirante idrico in condizioni iniziali
$\rho_s$	2700 kg/m <sup>3</sup>	densità frana
$\rho_w$	1030 kg/m <sup>3</sup>	densità acqua

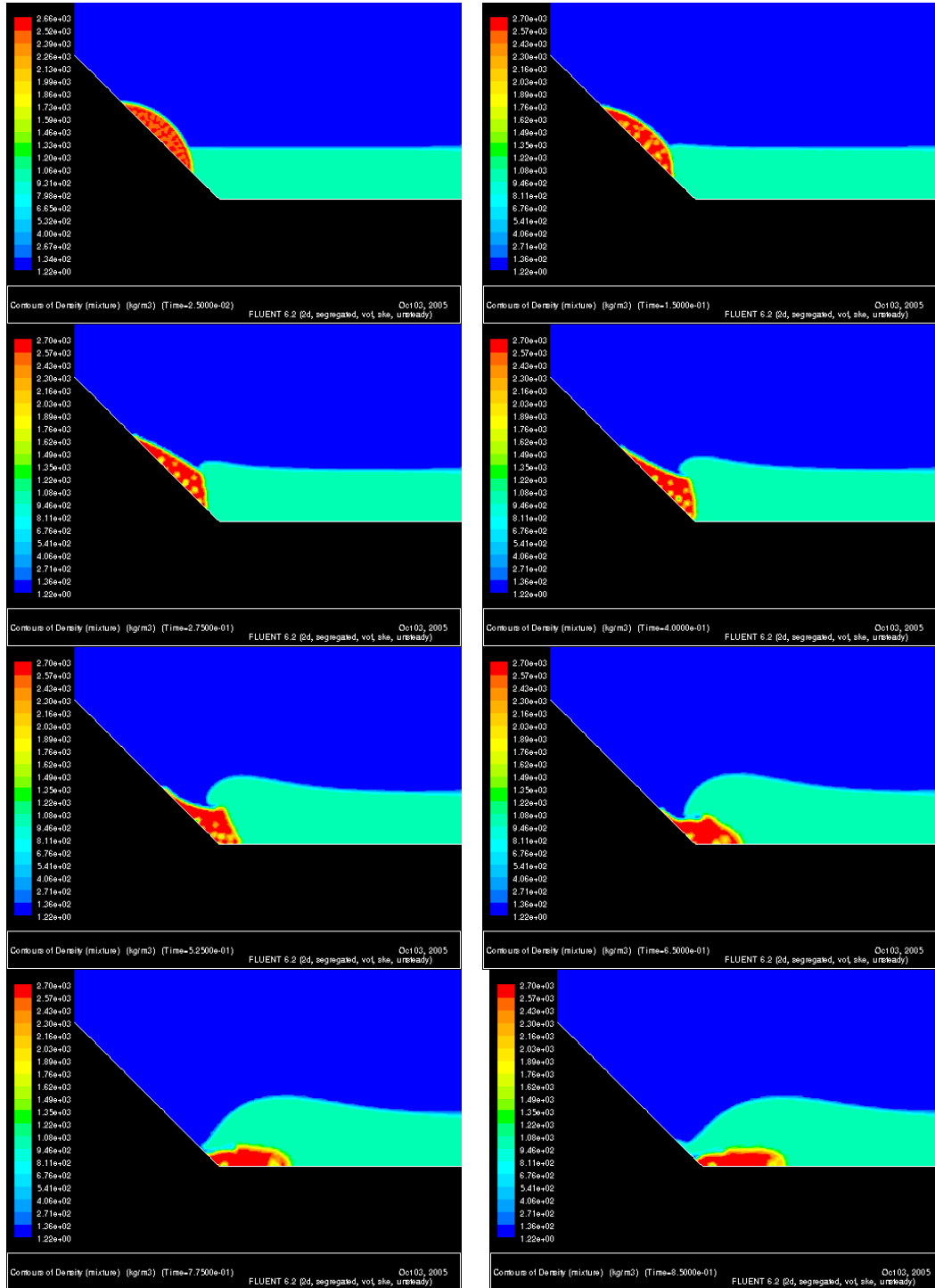


Figura 0-27:Flusso non separato, F=0,1: visualizzazione della densità per otto intervalli temporali,

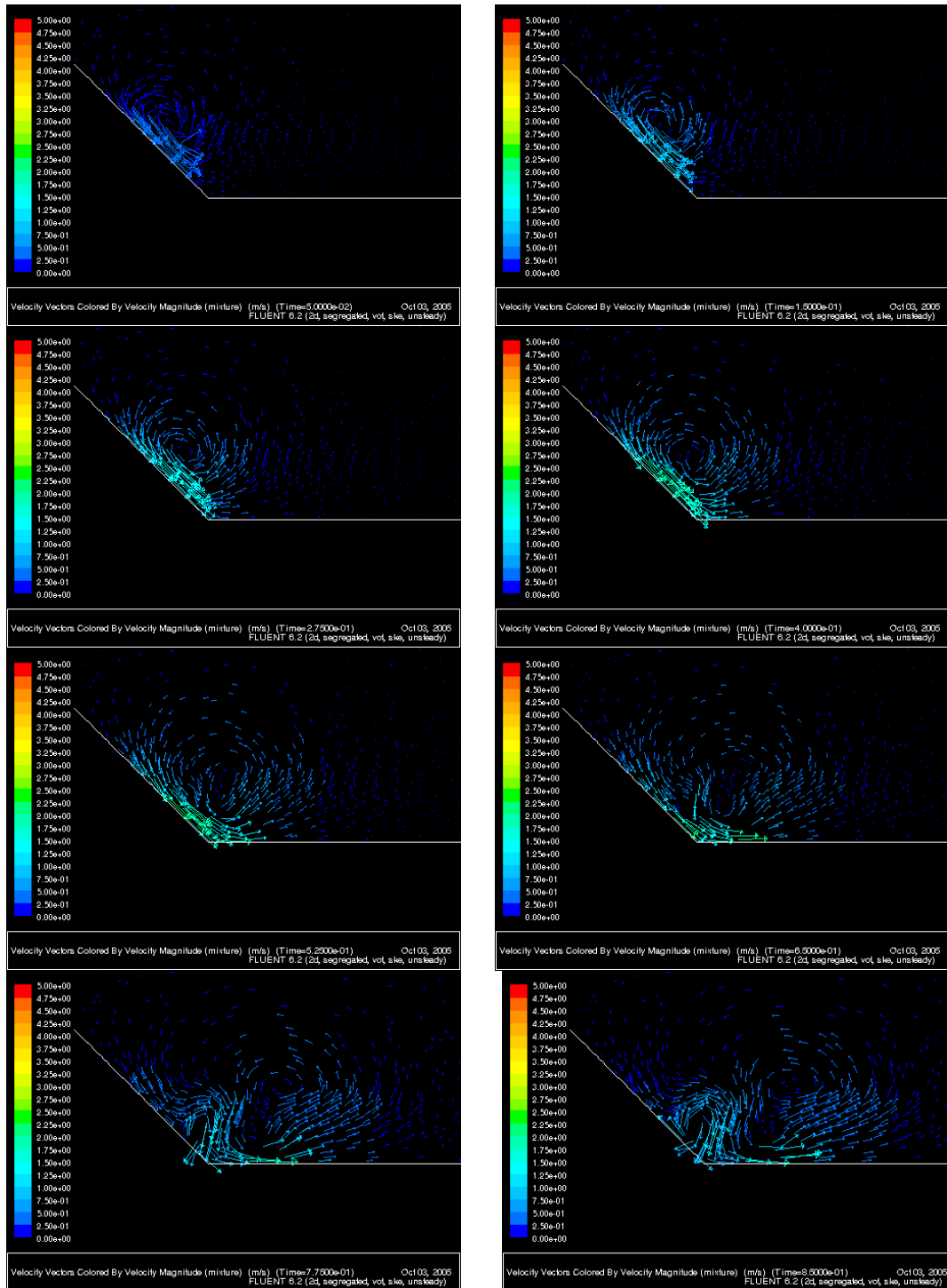


Figura 0-28: Flusso non separato,  $F=0,1$ : visualizzazione del campo delle velocità.

### *Tipi di cratere d'impatto idrodinamico*

La generazione e la propagazione di perturbazioni impulsive sul pelo libero di un liquido sono fenomeni che si incontrano in un gran numero di eventi naturali. In generale, la caduta di un oggetto, da una piccola goccia ad un asteroide, o le esplosioni sottomarine siano esse



naturali o artificiali sono fenomeni che comportano la formazione di onde impulsive con crateri idrodinamici d’impatto e cavità d’aria [19].

Nel caso di onde generate da frane che scivolano nell’acqua, un cratere d’impatto idrodinamico si può formare soltanto quando si ha distacco della vena fluida dal dorso della frana. Questo significa, per quanto detto in precedenza, che l’analisi di un cratere d’impatto è importante solo quando il numero di Froude è oltre un certo valore che dipende dalle caratteristiche della frana e dal tirante idrico.

Il meccanismo dominante che governa la formazione di un cratere d’impatto è il trasferimento di energia cinetica dalla massa impattante al fluido. Questo trasferimento di energia è regolato dai meccanismi dissipativi associati alla resistenza che la frana incontra nel “penetrare” l’acqua. Lee et al. (1997) [35] hanno sviluppato un modello analitico in base al quale l’energia necessaria per la produzione del cratere idrodinamico è equivalente all’energia dissipata per resistenza dell’oggetto che penetra nell’acqua. I parametri critici sono la velocità d’impatto e la forma del corpo impattante. Quando la frana penetra nell’acqua, il cratere d’impatto si espande finché la differenza fra la pressione del fluido circostante e quella nel cratere è bilanciata dagli effetti inerziali indotti dall’impatto. La fase successiva di “collasso” del cratere, che tende a riportare il fluido nelle condizioni di riposo, può portare alla formazione di una cavità d’aria (Figura 0-29).

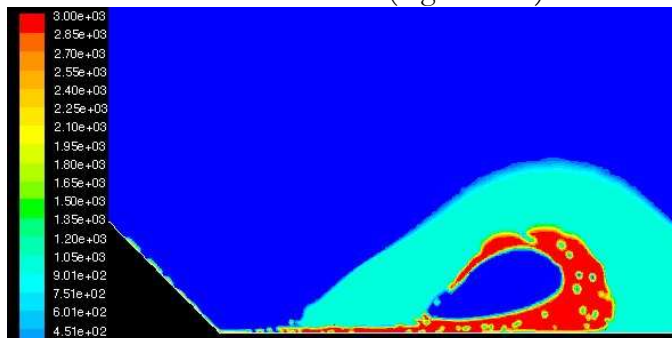


Figura 0-29: Formazione della cavità d’aria

I crateri idrodinamici d’impatto si distinguono in:

- *backward collapsing*, cioè a chiusura all’indietro;
- *outward collapsing*, cioè a chiusura in avanti.

mostrati rispettivamente in Figura 0-30 a) e b).

In entrambi i casi il cratere si forma per un movimento dell’acqua verso l’alto e nella direzione di propagazione della frana. Il cratere idrodinamico si forma per interposizione d’aria fra la frana e l’acqua.

Il processo di formazione e collasso di un cratere idrodinamico d’impatto è un fenomeno dinamico di grande complessità. E’ comunque possibile fare alcune considerazioni:

- All’aumentare del numero di Froude si passa da crateri d’impatto a chiusura all’indietro a crateri d’impatto a chiusura in avanti;
- Nel caso di crateri a chiusura all’indietro, come quello mostrato in Figura 0-30 a) si possono formare una o più cavità d’aria;
- Nel caso di crateri d’impatto a chiusura in avanti, non c’è una chiusura del cratere ma il collasso avviene dopo che la cresta dell’onda ha raggiunto la sua massima altezza e l’acqua per gravità tende comunque a tornare indietro lungo il dorso della frana. Il flusso di ritorno dell’acqua che tende a riempire il cratere idrodinamico d’impatto, pur essendo un fenomeno molto più complesso, può essere assimilato ad un classico problema di *dam-break*. La differenza essenziale è che l’acqua che riempie il cratere

non parte da condizioni di riposo. Infatti, soltanto parte dell'energia cinetica della frana è convertita in energia potenziale dell'acqua, dato che l'acqua non raggiunge mai condizioni statiche (anche quando la cresta raggiunge la massima altezza, il campo di moto dell'acqua non è nullo).

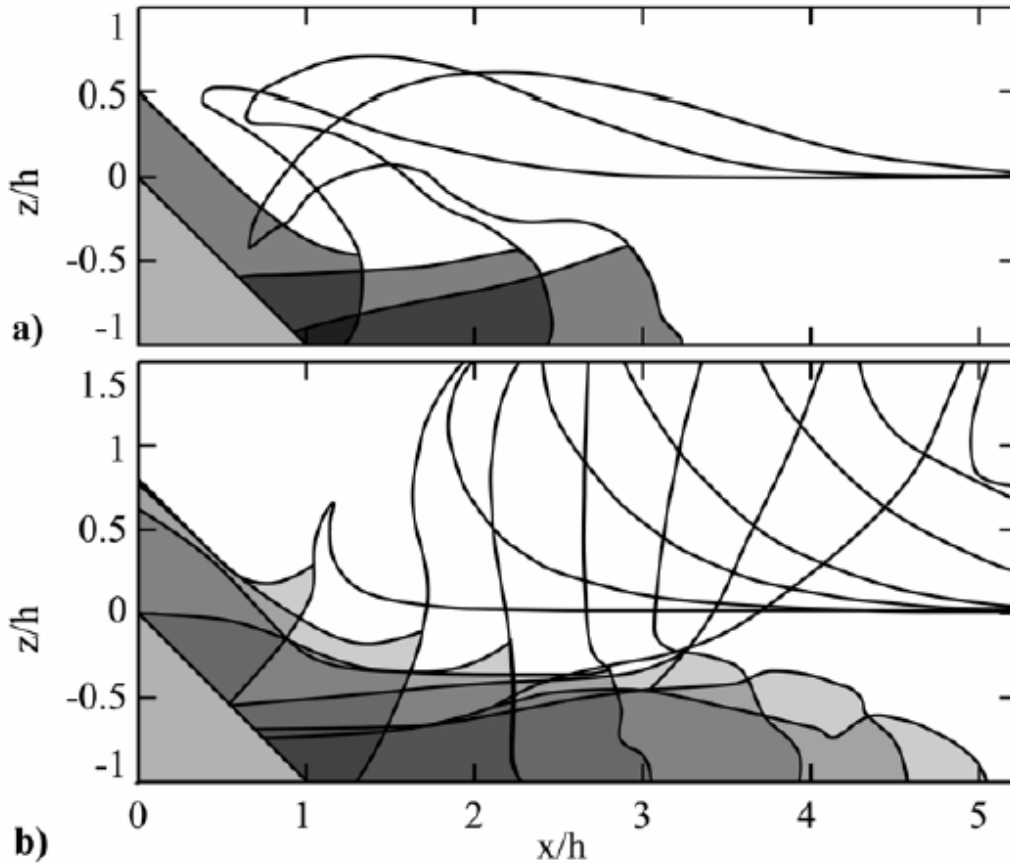


Figura 0-30: Tipi di cratere d'impatto idrodinamico: a) cratere con chiusura all'indietro in direzione opposta a quella di slittamento della frana, b) cratere con chiusura in avanti in direzione del moto. [10].

E' difficile individuare un criterio analitico per distinguere se l'impatto di una frana provochi un cratere d'impatto *backward collapsing* o uno *outward collapsing*. Nell'analisi sperimentale [10] si è osservato nei suoi test sperimentali che per  $F > \left(4 - \frac{5}{2}S\right)$ , dove S è ancora una volta lo spessore relativo della frana, il cratere d'impatto si chiude in avanti, altrimenti si chiudeva indietro. Le simulazioni effettuate per questo lavoro di tesi hanno confermato che l'aumento della velocità d'impatto e quindi del numero di Froude comporta il passaggio da *backward* a *outward collapsing*, ma non hanno confermato la formula trovata da Fritz. Lo spessore relativo della frana, infatti, non si è dimostrato essere un parametro sufficiente per determinare il tipo di cratere che si andrà a formare, essendo la forma della frana, che ne determina il coefficiente di resistenza, un parametro altrettanto importante. Lo stesso Fritz [10], d'altra parte, ha osservato un intervallo di F,  $\left(\frac{5}{3} + \frac{1}{2}S\right) \leq F \leq \left(4 - \frac{5}{2}S\right)$ , all'interno del quale il cratere d'impatto poteva essere sia a chiusura all'indietro che in avanti.

Si deve sottolineare, inoltre, a conferma che la transizione da *backward* a *outward collapsing* è molto complessa, che si possono osservare casi in cui la cresta tende a protrarsi in avanti, come nel caso di cratere *outward collapsing*, mentre poi la chiusura del cratere avviene all'indietro, come illustrato in Figura 0-31.

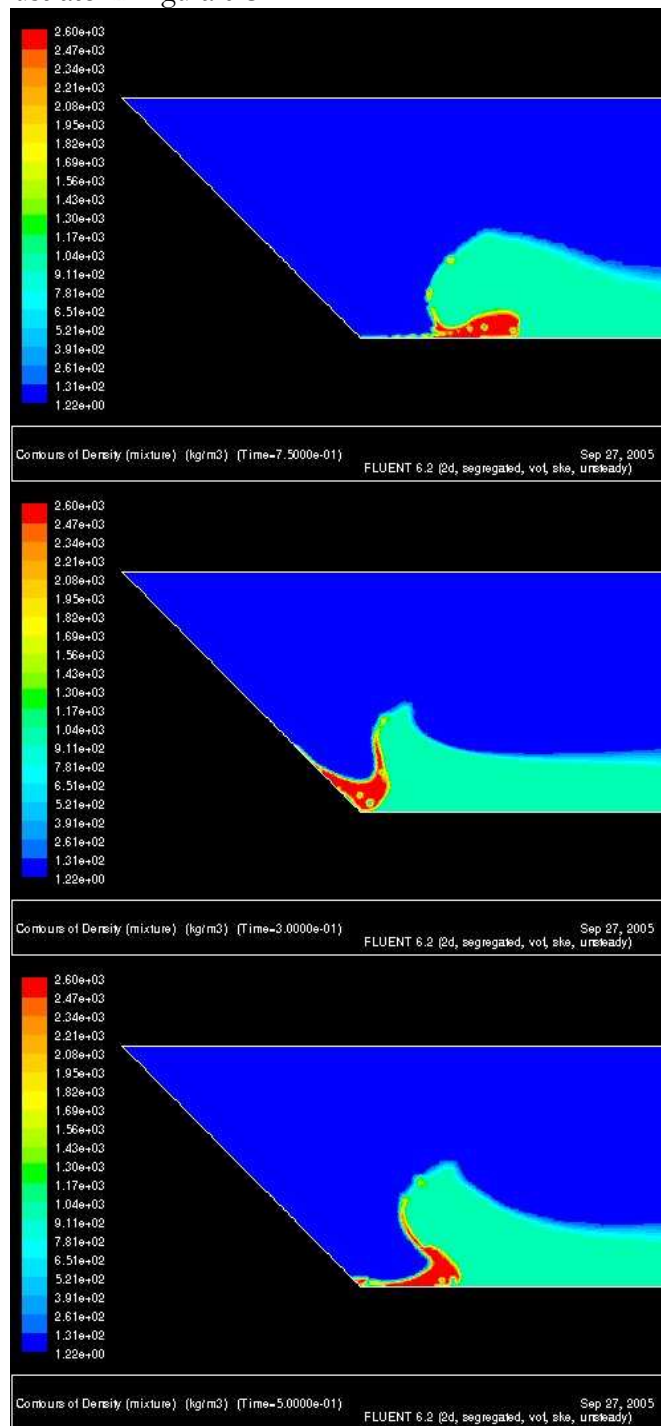


Figura 0-31: Caso di cratere outward collapsing.

E' importante, infine, considerare che la schematizzazione di una frana come un fluido, utilizzata nel modello sviluppato per questo lavoro di tesi, ha inevitabilmente influenza sulla forma dell'onda generata e in particolare sul tipo di cratere idrodinamico. Dal confronto dei

risultati numerici con i dati sperimentali si è concluso che l'impatto di un liquido con un liquido abbassa la velocità d'impatto oltre la quale si ha un cratere *outward collapsing*.

Simulazioni con  $F > 1$ : flusso separato

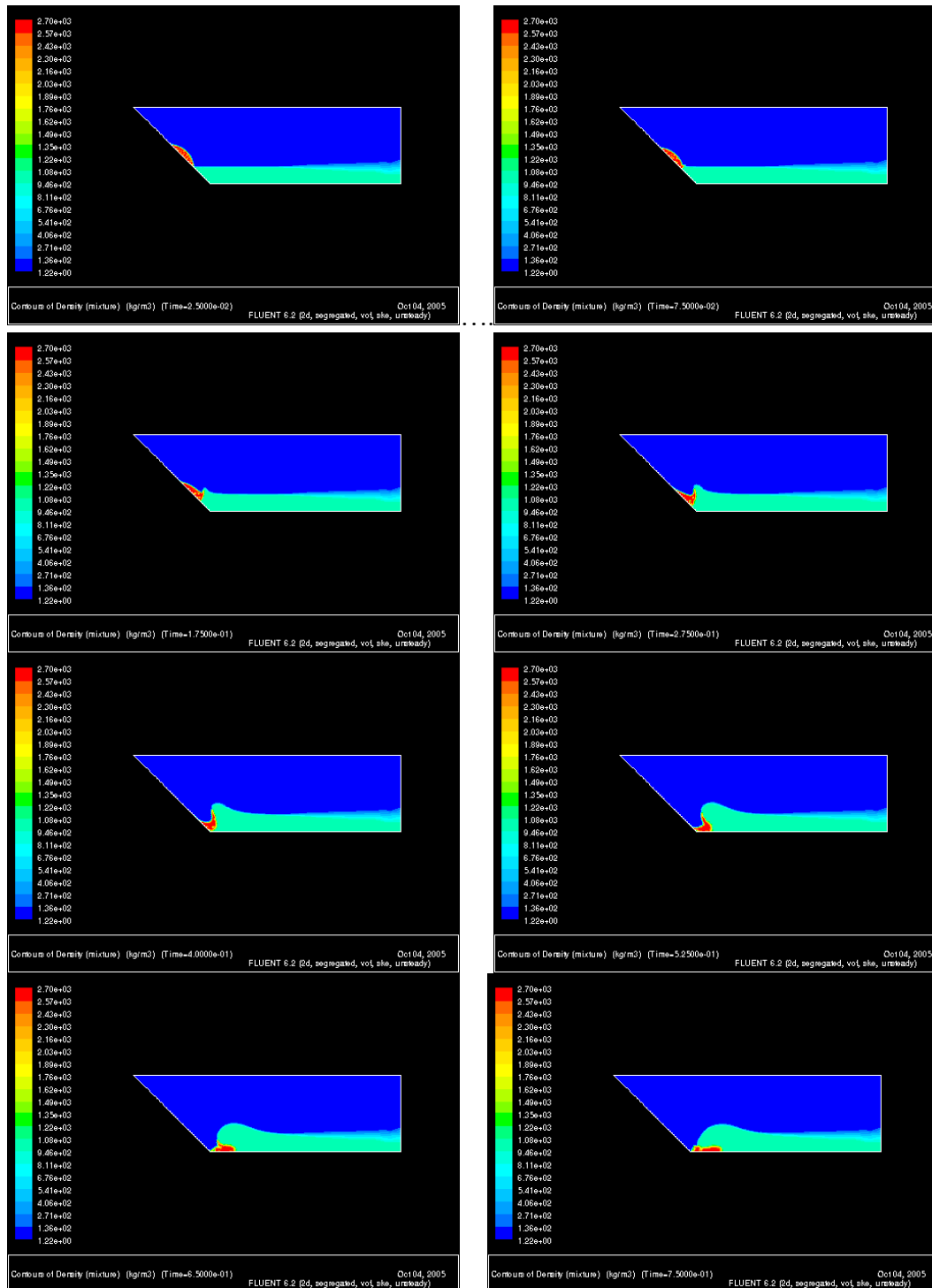


Figura 0-32: Flusso separato,  $F=1$ , visualizzazione della densità

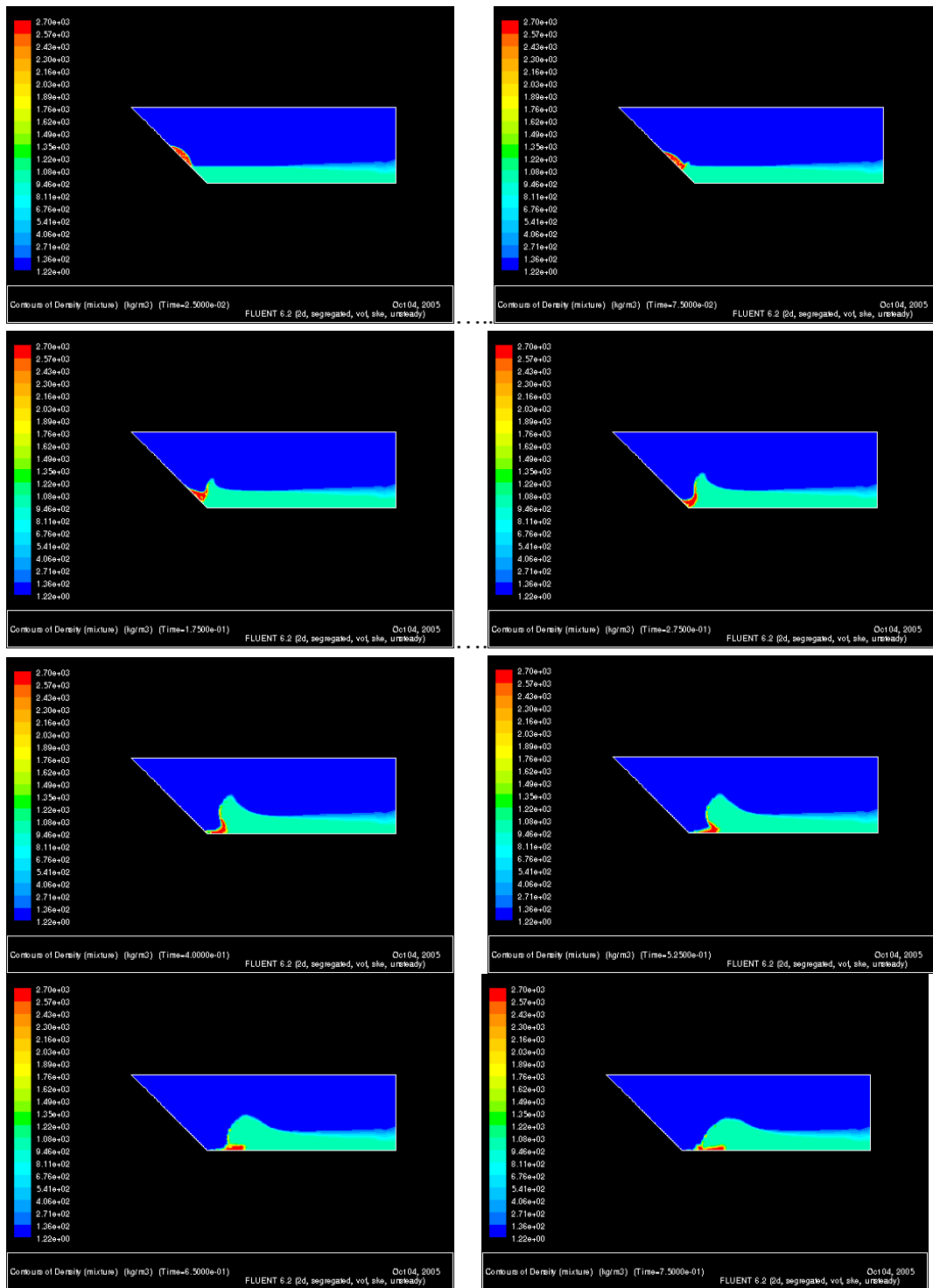


Figura 0-33: Flusso separato,  $F=2$ , visualizzazione della densità

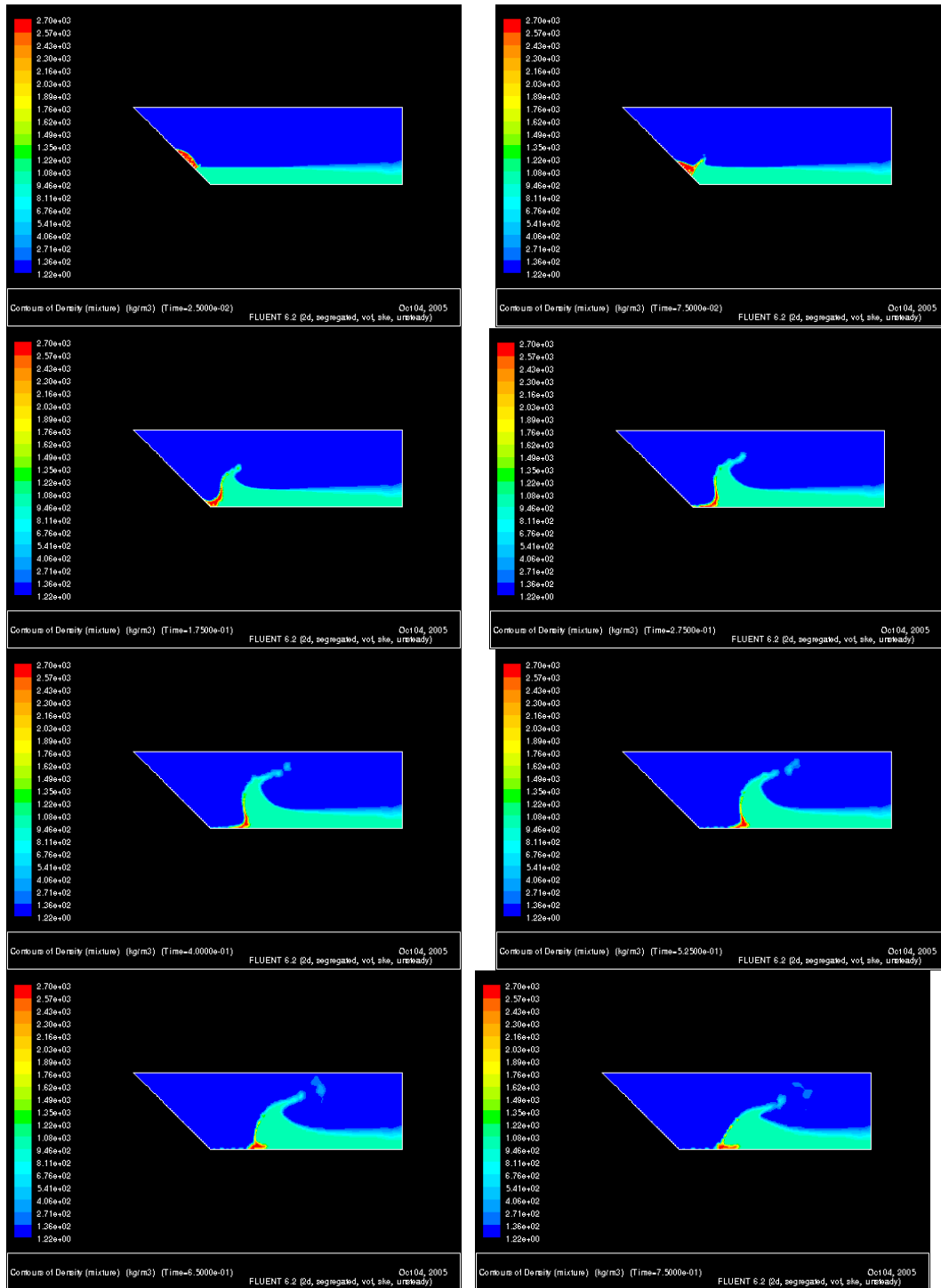


Figura 0-34: Flusso separato, F=4: visualizzazione della densità

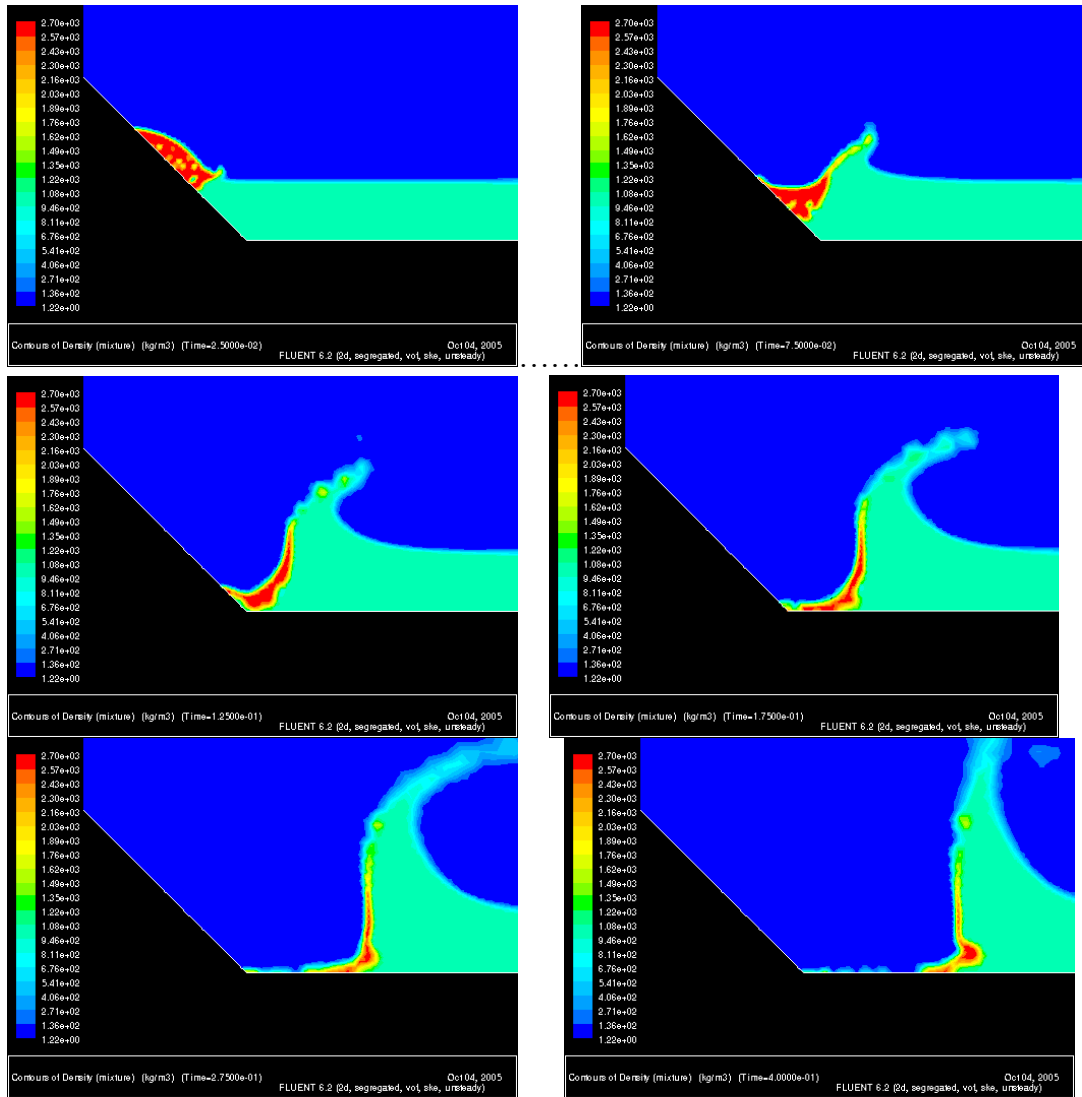


Figura 0-35: Flusso separato, F=6: visualizzazione della densità



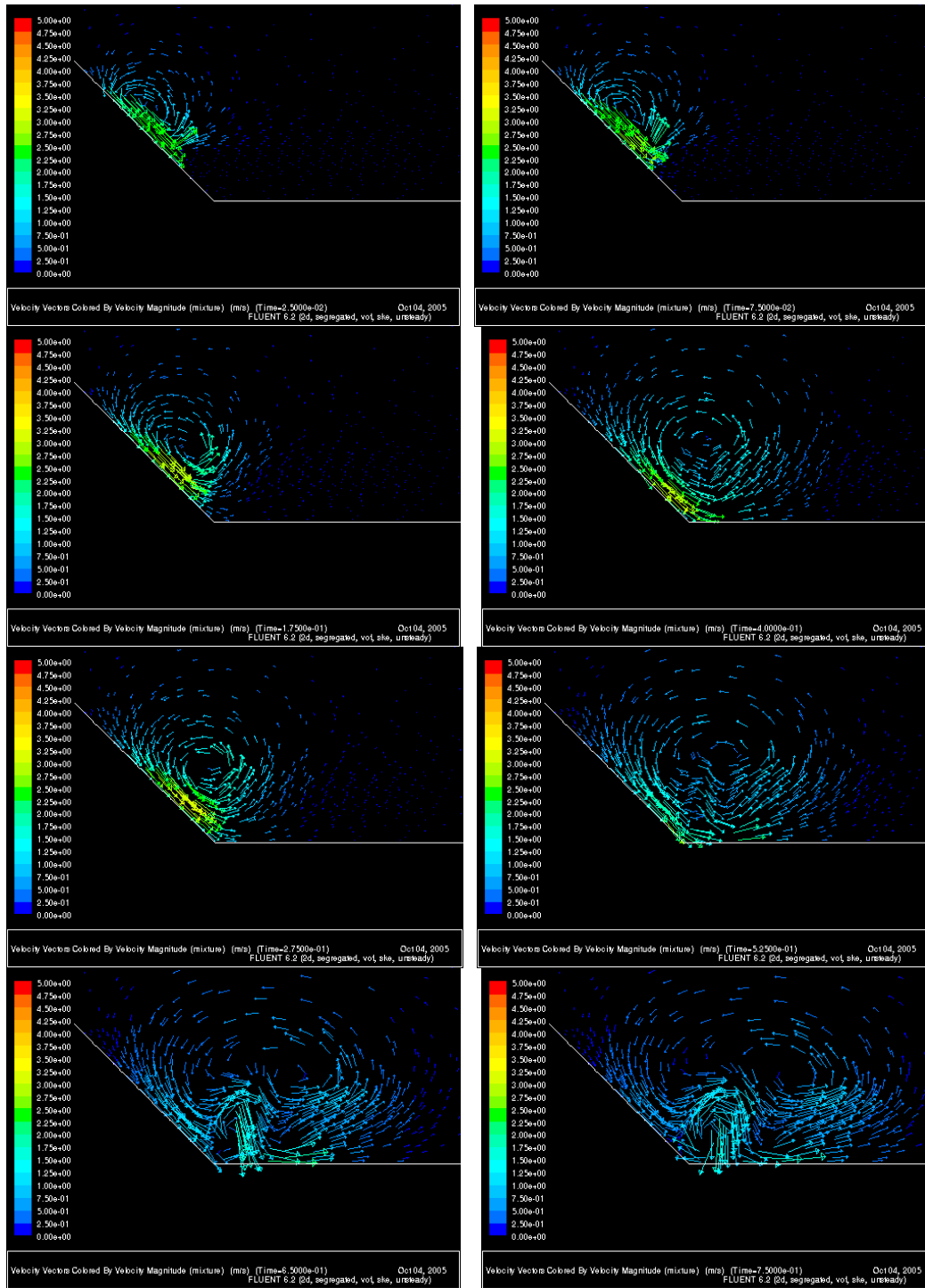


Figura 0-36: Flusso non separato, F=1: campo delle velocità

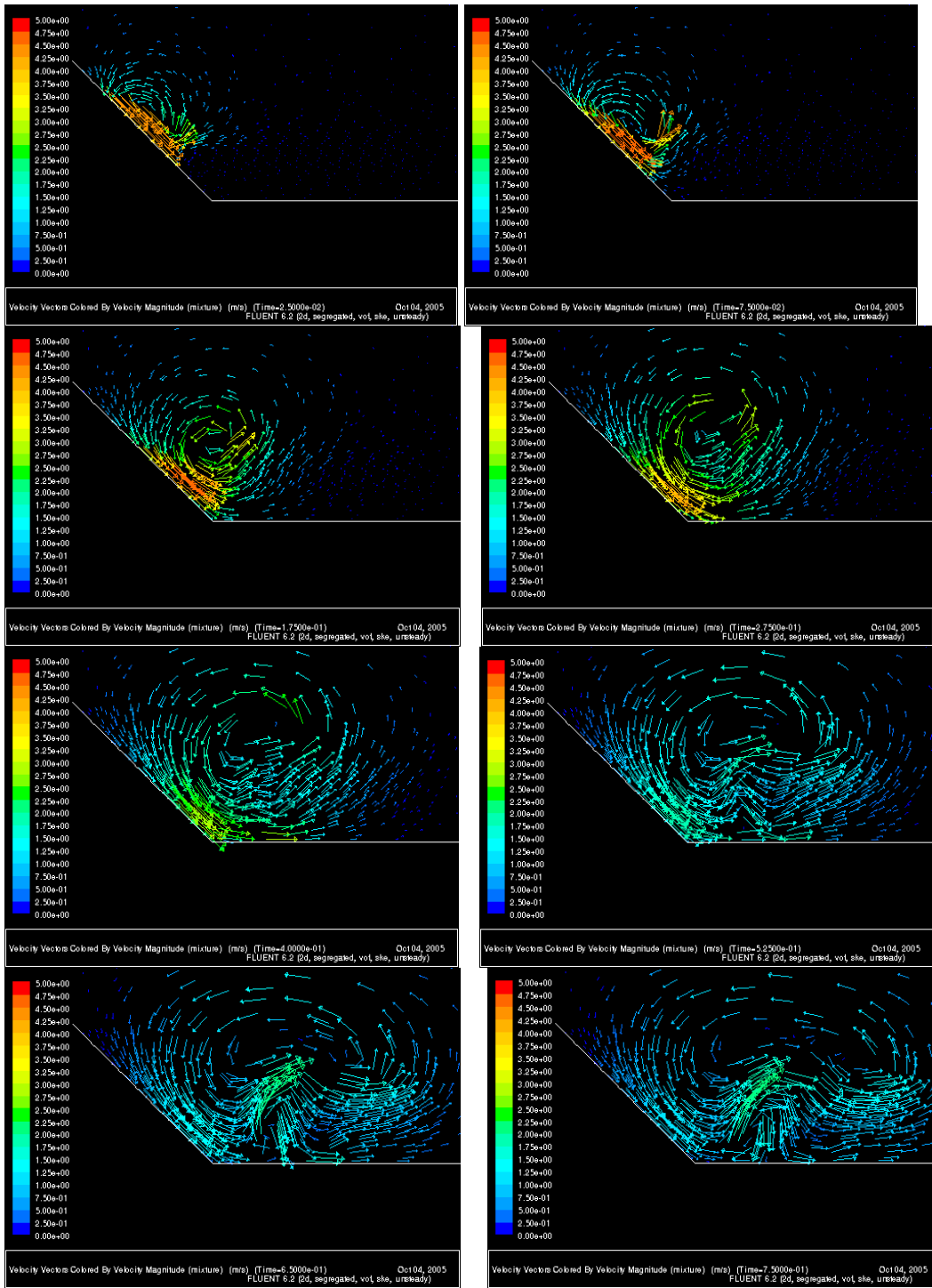


Figura 0-37: Flusso non separato, F=2: campo delle velocità

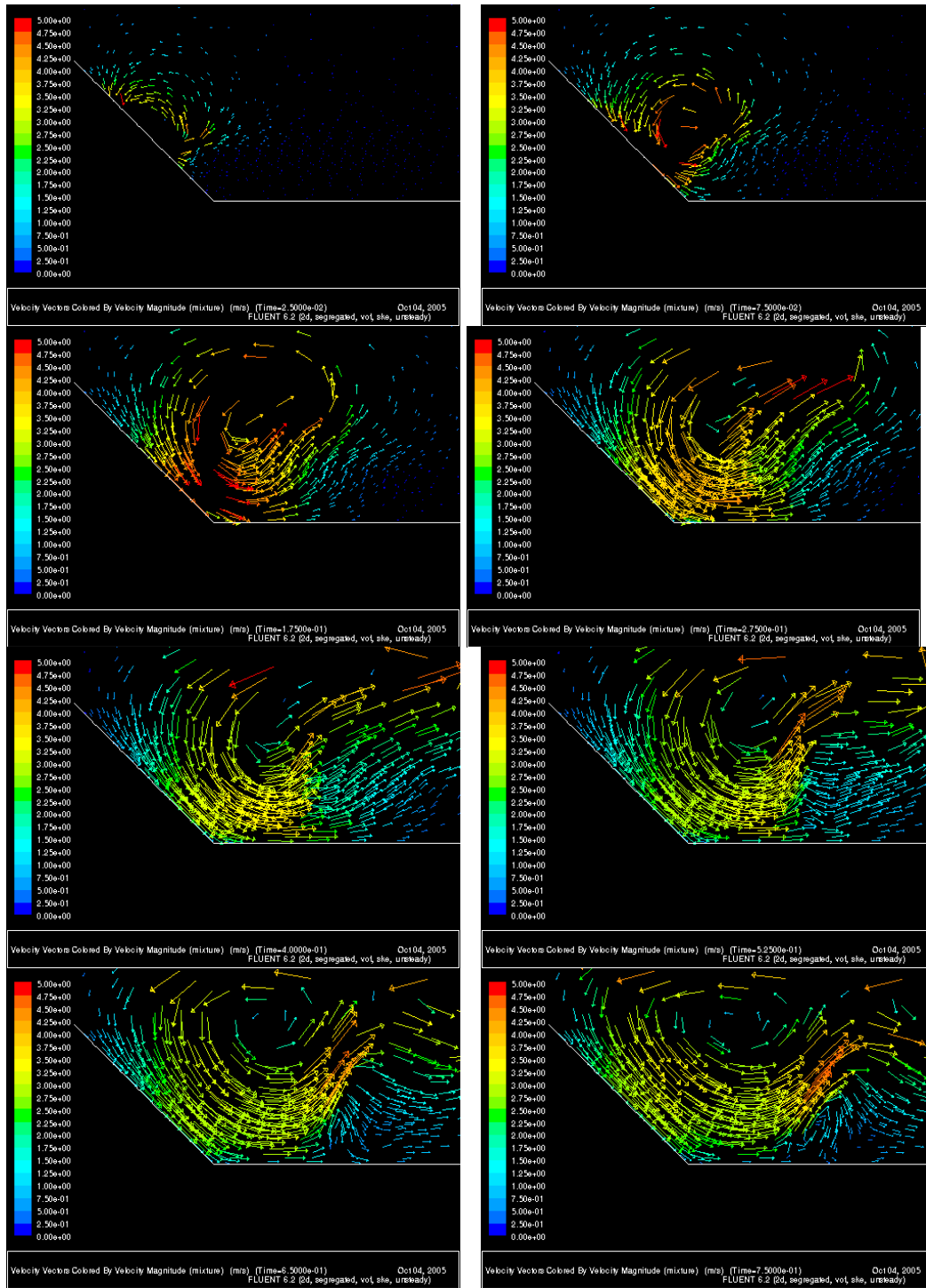


Figura 0-38: Flusso non separato,  $F=4$ : campo delle velocità

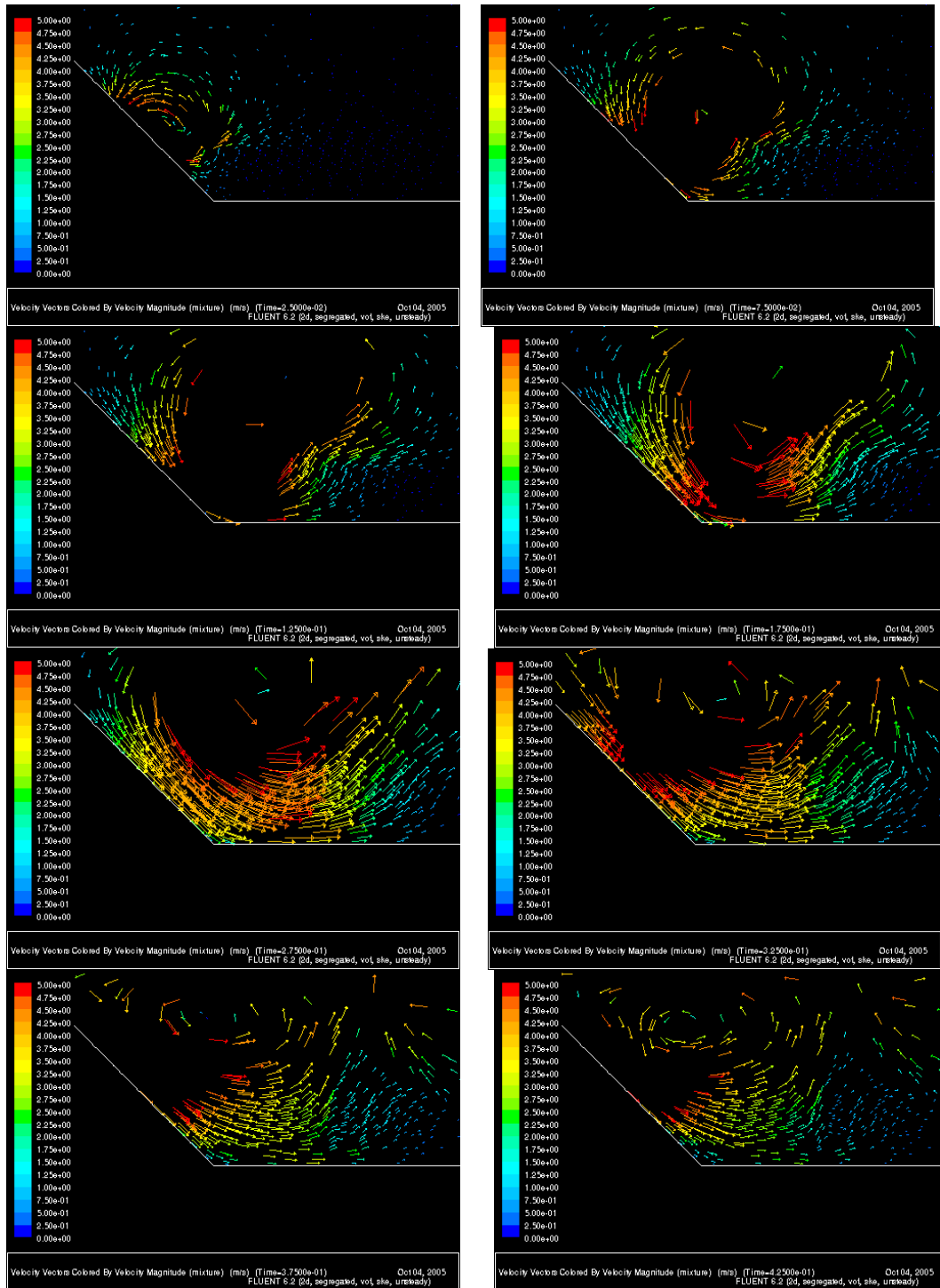


Figura 0-39: Flusso non separato,  $F=6$ : campo delle velocità.

**caso di studio: Mega-tsunami, 1958 baia di Lituya**

*Analisi del fenomeno*

Nella validazione del modello si è proceduto anche con il confronto di ampiezze d'onda osservate in eventi realmente accaduti.

Purtroppo le informazioni disponibili riguardo eventi avvenuti in natura sono molto scarse e sono per lo più limitate all'osservazione delle cicatrici della frana e depositi, segni di incisioni dovuti alla risalita di onde e misure con strumenti mareografici situati a grandi distanti.

L'altezza d'onda nel corpo idrico può essere determinata in anticipo (a priori) impostando un calcolo sulla base dell'altezza di run up.

La ricostruzione dell'altezza di risalita in seguito a fenomeni di run up si base essenzialmente sull'analisi dei luoghi inondata, l'errore commesso è dunque sicuramente dell'ordine di qualche metro, di conseguenza ha senso in termini di affidabilità del risultato, prendere in considerazione fenomeni che hanno prodotto grandi altezze d'onda e dunque considerevoli risalite. Va inoltre sottolineato che l'altezza di risalita varia in maniera significativa lungo la linea di riva a causa degli effetti della conformazione topografica, della batimetria, delle riflessioni e diffrazioni ed interferenze.

Il caso di studio scelto, riguarda la frana del 1958 che ha impattato con il bacino della baia di Lituya, questo è sicuramente l'evento di cui disponiamo una migliore documentazione [9],[12], [38], [36], [45] [Appendice C]. L'impatto della massa scivolata ha creato un' onda gigante a gravità simile a una onda solitaria che è risalita per 524 m sul versante opposto, in direzione assiale rispetto all'asse di scivolamento della frana. Questo valore di *run up* è il più alto registrato nella storia e supera per più del doppio le altre altezze di cui si è reperita altra memoria

Nel modello numerico ricostruito, si considera una schematica geometria bidimensionale. La semplificazione, in contrasto con la reale topografia, risulta comunque accettabile dato che la diffusione radiale o laterale dell'onda è trascurabile rispetto alle dimensioni del fenomeno in direzione trasversale. Inoltre in questa specifica situazione topografica la riduzione di altezza d'onda dovuta agli effetti 3D è limitatamente favorita dal piccolo rapporto di 1,6 tra la distanza di propagazione e l'altezza d'onda, in definitiva l'evento della baia di Lituya ben si adatta ad un diretto confronto con un modello geometrico bidimensionale.

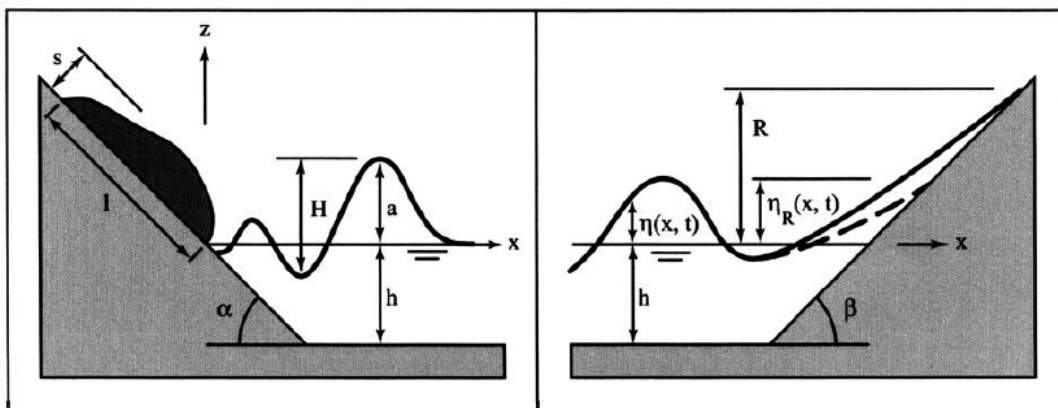


Figura 0-40: Notazione usata per definire i parametri in fase di impatto e di risalita. R = massima risalita. [10].

I valore di run up rilevati in sito sono stati acquisiti verificando fino a che quota lungo il versante è avvenuto l'abbattimento di alberi in seguito all'inondazione. Questi ben si adattano

con il valore di run up calcolato grazie al modello numerico e con quello calcolato utilizzando la formula di run up proposta da Hall and Watts (1953) [13].

Diversi sistemi fisici e numerici sono stati utilizzati per ricostruire l'onda nella baia di Lituya:

- Modello fisico: esperimenti condotti nel 2000 [9] al laboratorio VAW - *Swiss Federal Institute of Technology* di Zurigo, dove stata riprodotta la baia di Lituya a scala 1:675 [10] [11] [12][13]
- [10] Fritz, H., 2002 Initial phase of landslide generated impulse waves, PhD Thesis, Swiss Federal Institute of Technology Zürich.

[11] Fritz, H.M., Hager, W.H., Minor, H.E., 2001, Lituya Bay Case: Rockslide Impact and Wave Run-Up, The International Journal of The Tsunami Society, Volume 19 Number 1, pp. 3-22.

[12] Fritz, H.M. (2001). PIV applied to landslide generated impulse waves. Laser techniques for fluid mechanics, selected papers from the 10<sup>th</sup> International Symposium: Lisbon 2000, Portugal. Eds. Adrian, R. J. et al., Springer, New York.

[13] Hall, J.V., Jr., Watts, G.M. (1953). Laboratory investigation of the vertical rise of solitary

waves on impermeable slopes. Tech. Memo. 33, U.S. Army Corps of Engineers,

Beach Erosion Board.

- [14]. Il modello ha dimostrato che la frana avvenuta nella baia ha generato un run up di 530 metri, che nell'impatto con l'acqua ha originato una grande cavità ed un'onda estremamente non lineare con altezza massima di 160 metri.
- Modello matematico *Shallow water*. l'evento è stato modellato utilizzando il codice SWAN (shallow water non lineare), la simulazione tiene in considerazione anche gli effetti di Coriolis e dell'attrito[38]. Dai risultati è evidente che, con i volumi detritici mobilitati, l'altezza d'onda prodotta (mobilitare la massa d'acqua necessaria a causare l'onda osservata) è fortemente sottostimata rispetto all'evento reale. Dunque un modello di tipo shallow water non è in grado di riprodurre il fenomeno. George Pararas-Caryannis [45] suggerisce che l'onda può essere stata generata dall'impatto con la massa franata con un meccanismo simile a quello di un impatto di un asteroide, con la caratteristica formazione della cavità nel fondale dell'insenatura al piedi del versante.

Come negli schemi di generazione di onde dovute alla cadute di asteroidi anche in questo caso sono richieste modelli Navier Stokes.

- Modello matematico *Compressible Navier Stokes*: La frana della baia di Lituya è stata modellata con un codice idrodinamico [1] [17] [37] che risolve le equazioni di Navier Stokes non stazionarie in tre dimensioni ed include gli effetti della gravità. I risultati evidenziano come un approccio di tipo fluidodinamica meglio si adatta a riprodurre il caso reale, infatti l'altezza d'onda massima calcolata nella baia risulta di circa 250 m s.l.m.

ed il run up di 580 m, dunque i risultati sono compatibili con i dati osservati (524 metri run up).

*Simulazione fluidodinamica della generazione dell'onda nella baia di Lituya*

Dati di input

La schematizzazione geometrica della morfologia del sito utilizzata (Figura 0-41), in accordo con gli altri studi presentati [39], è bidimensionale ed è mostrata in Figura 0-42).

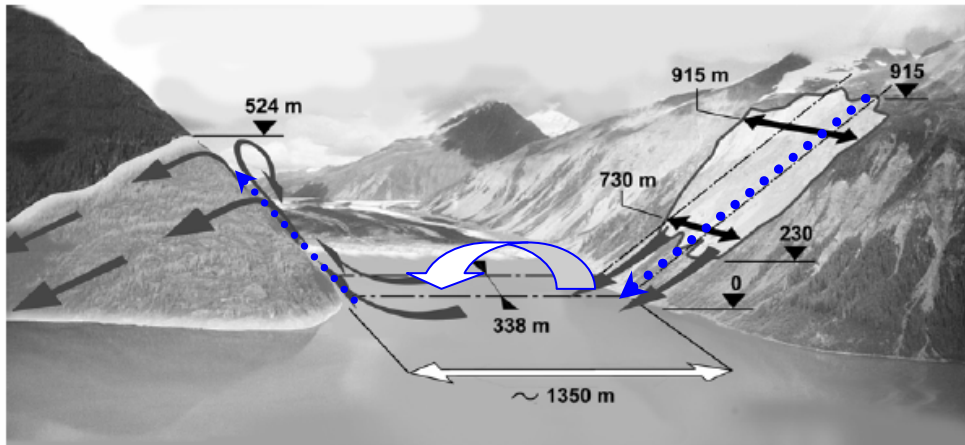


Figura 0-41: Illustrazione della insenatura di Gilbert. E' mostrata la dimensione della frana, l'area di propagazione, la quota di risalita. La vista è da nord l'illustrazione è frutto di due immagine oblique prese nel 1997 (Foto: Charles L. Mader). [12].

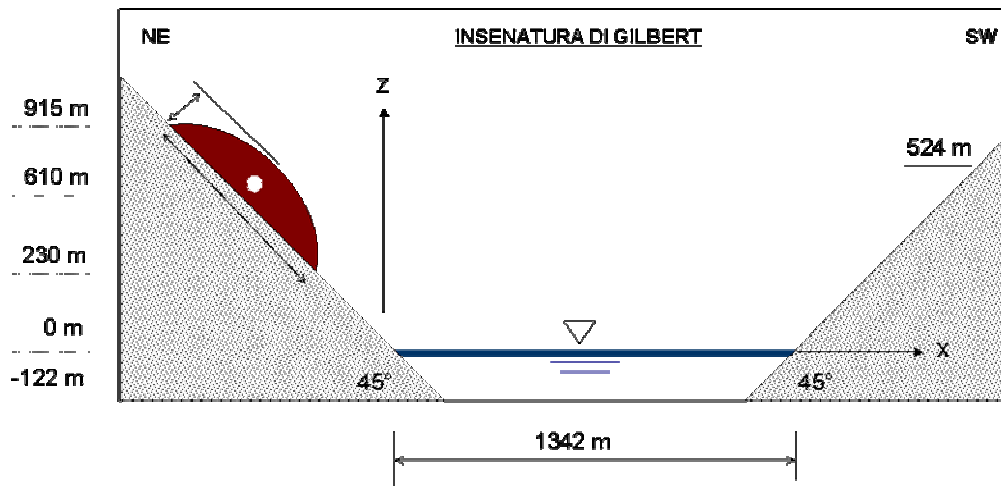


Figura 0-42 Schema semplificato della geometria dell'insenatura di Gilbert usato nel modello numerico. Sezione lungo l'asse NE - SW.

I parametri utilizzati per la definizione del modello di input sono sinteticamente elencati in Tabella 0-4.

Simbolo	Valore	Descrizione
b	823m	Larghezza della frana

$l_s$	970m	Lunghezza frana
s	120m	Spessore frana
A	21 000 m <sup>2</sup>	Area della frana
$V_s$	30,6 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Volume frana
$\alpha_1$	45°	Angolo de piede di pendio di slittamento
$\alpha_2$	45°	Angolo de piede di pendio di risalita
h	122 m	Tirante idrico in condizioni iniziali
x	1342 m	Distanza di propagazione dell'onda
$v_s$	110 m/s	Velocità d'impatto della frana
$v_x$	77,8 m/s	Componente x di $V_s$
$V_y$	77,8 m/s	Componente y di $V_s$
$\rho_s$	2868 kg/m <sup>3</sup>	Densità frana
$\rho_w$	1030 kg/m <sup>3</sup>	Densità acqua

Tabella 0-4: Dati di input del problema.

#### Griglia di calcolo

La griglia è stata generata con il pre-processore GAMBIT (Capitolo 4), è una griglia non strutturata di elementi triangolari, i dettagli sono illustrati in Tabella 0-5. E' stata utilizzata una funzione di infittimento in prossimità di:

- interfaccia frana – aria;
- interfaccia acqua – aria;
- piano inclinato di scivolamento;
- fondo d'alveo;

che prevede una dimensione caratteristica minima di 5m, una massima di 150m nell'estrema quota del piano di risalita e una tasso di crescita di dimensione cella dell'8% .

In Figura 0-43 è illustrata la griglia di calcolo con uno zoom nelle zone caratterizzate da un flusso più complesso, con griglia più fitta.



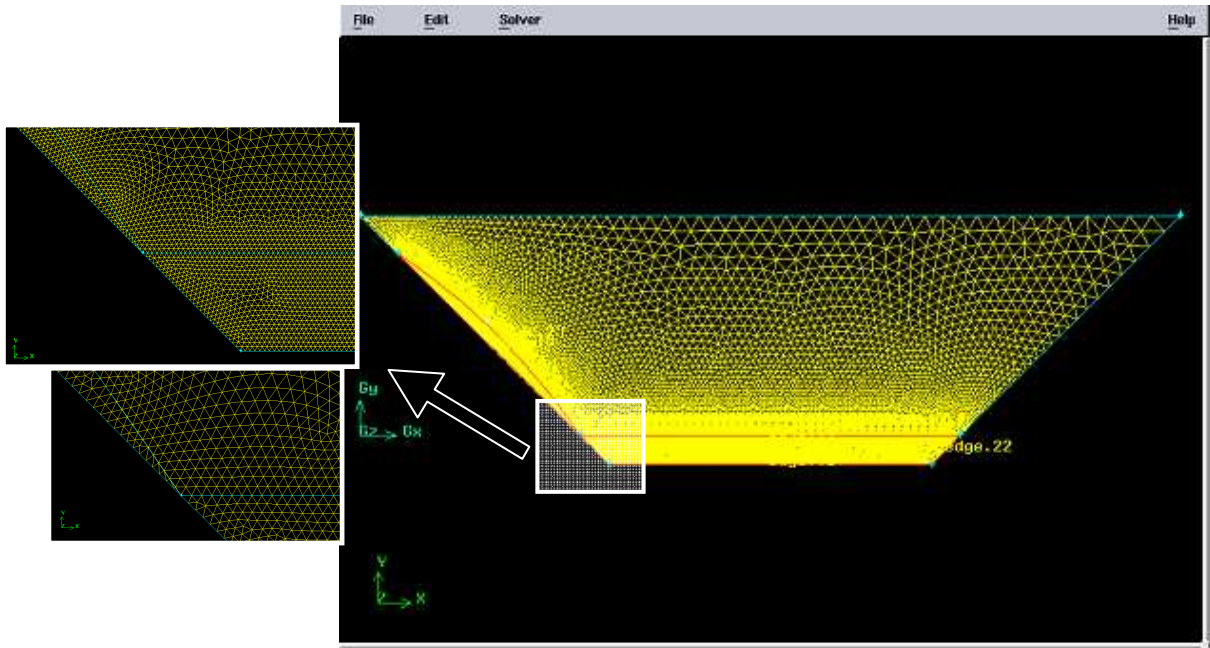


Figura 0-43: Visualizzazione della griglia di calcolo

n° Celle	n° Facce	n° Nodi	Dimensione celle
30646	46271	15626	5 m <d< 150 m - crescita: 8%

Tabella 0-5: Struttura della griglia di calcolo

#### Simulazione fluidodinamica

E' stata condotta una simulazione fluidodinamica (Capitolo 4) schematizzando il materiale di frana con un fluido con densità pari a  $2.600 \text{ kg/m}^3$ . Per tenere conto della struttura granulare del materiale di frana si è impostata una frazione di volume di aria del 10 % nel materiale di frana

#### Risultati

I risultato della simulazione fluidodinamica sono in buon accordo con i valori osservati, infatti il modello ha dimostrato che la frana avvenuta nella baia ha generato un run up di 560 metri (Figura 0-44). La Figura 0-45 mostra la sequenza temporale di generazione e propagazione dell'onda lungo la baia.

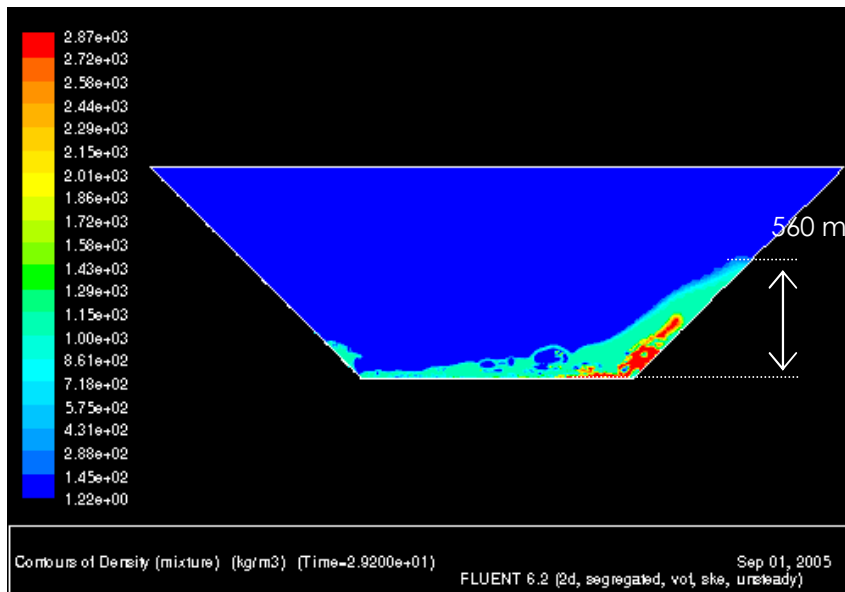
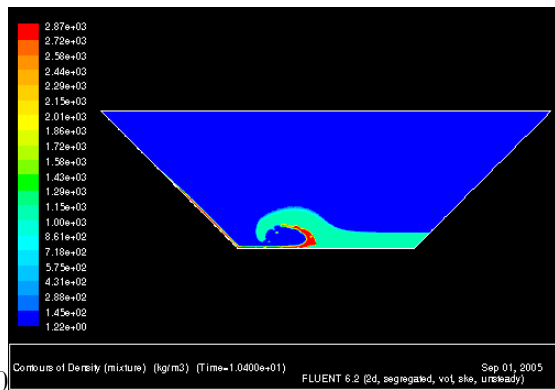
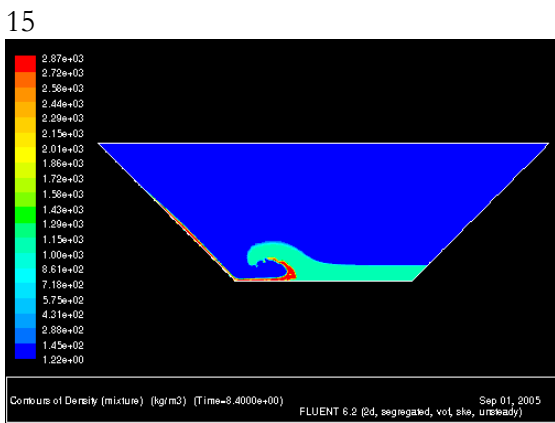
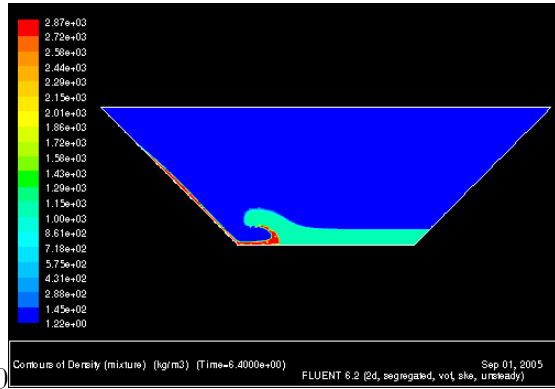
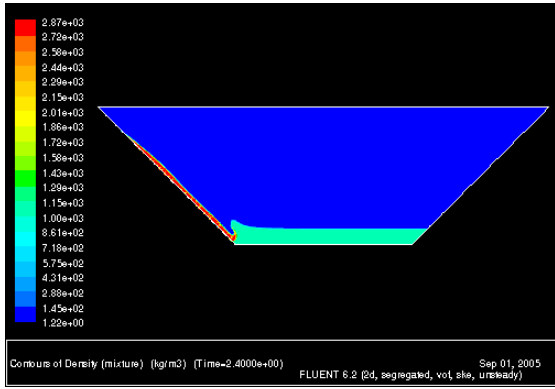
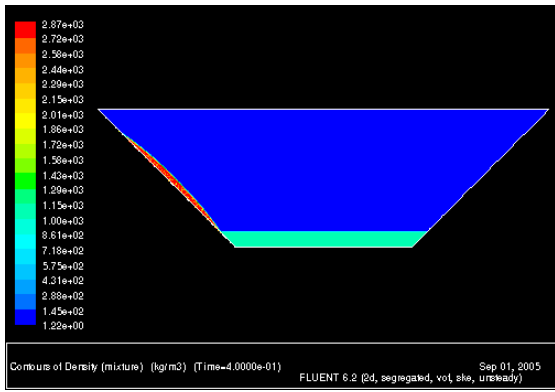


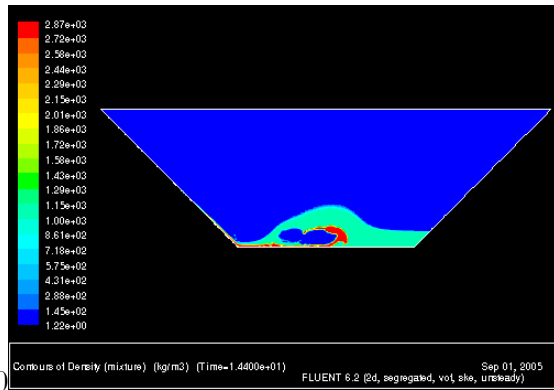
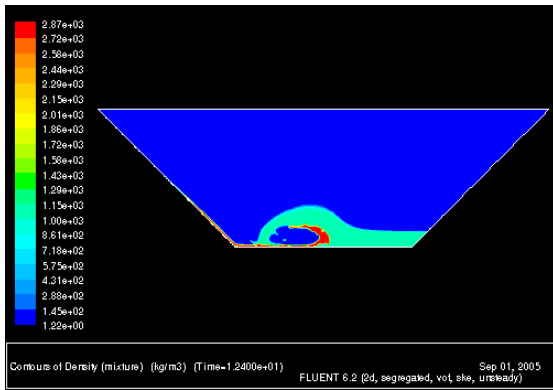
Figura 0-44: Run up pari a 560 m risultato della simulazione fluidodinamica.

Il valore è paragonabile con quello osservato nell'evento reale pari a 524m e con quelli calcolati con altri modelli.

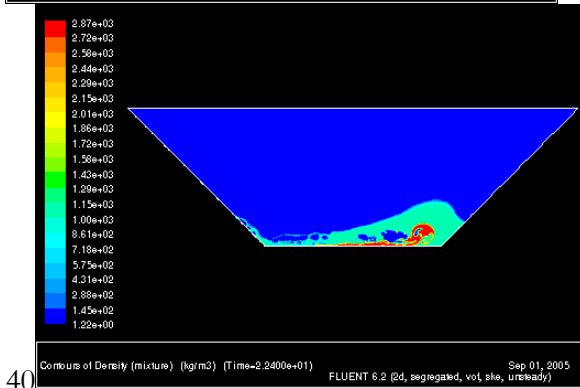
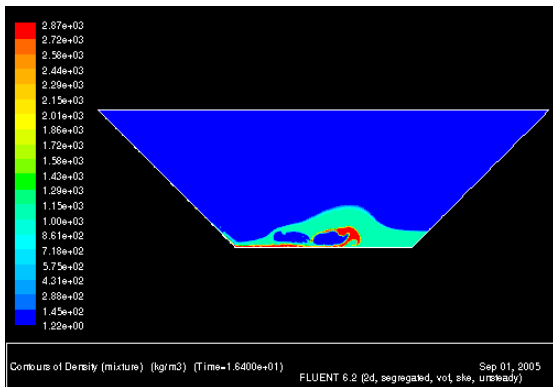
Autore	Equazioni ed esperienze	R
Evento baia di Lituya 1958	Rilievo in sito	524 m
Numerico (Biscarini, 2005)	Simulaziome fluidodidnamica	560 m
Sperimentale PIV (Fritz0, 2001)	Valore misurato	530 m
<i>Numerico</i> (Mader, 2002)	Compressible Navier Stokes	580m
Formula empirica (Hall e Watts 1953) H=122 m, H=162 m, $\alpha=45^\circ$	$\frac{R}{h} = 3,1 \left( \frac{H}{h} \right)^{1,15}$	526 m
Teoria approssimata per onde solitarie Synolakis (1987) H=122 m, H=162 m, $\beta=45^\circ$	$\frac{R}{h} = 2,831 \sqrt{\cot \beta} \left( \frac{H}{h} \right)^{\frac{5}{4}}$	492 m
Formula empirica (Muller 1995) H=122 m, H=162 m, $\beta=45^\circ$ , L= 1100m	$\frac{R}{h} = 1,25 \left( \frac{\pi}{2\beta} \right)^{0,2} \left( \frac{H}{h} \right)^{1,25} \left( \frac{H}{L} \right)^{-0,15}$	333 m



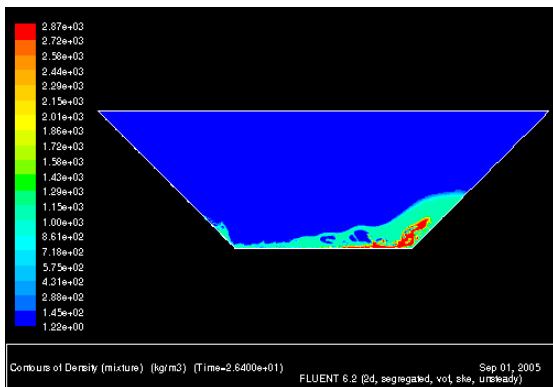
25



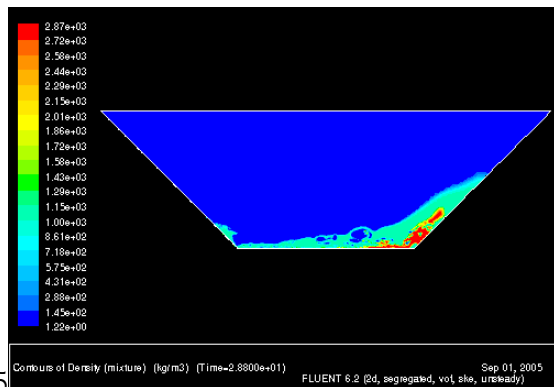
35



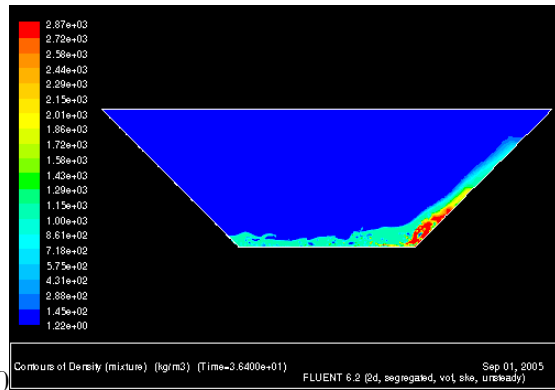
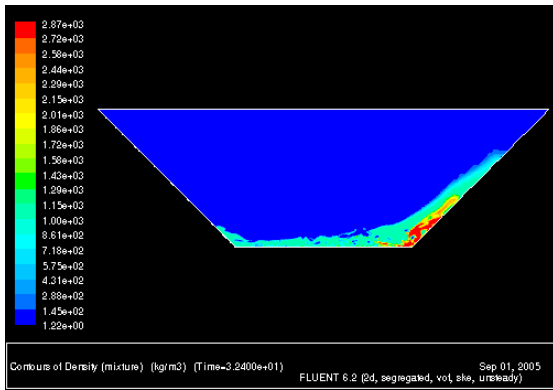
40



55

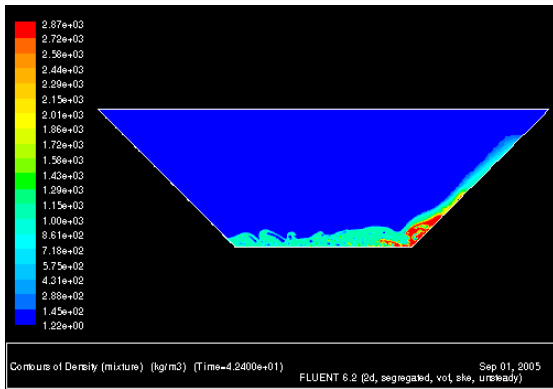


71

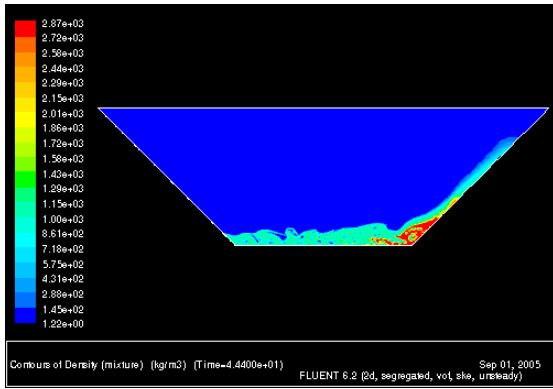


80

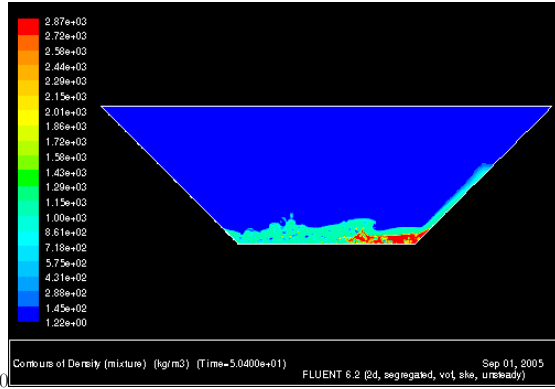
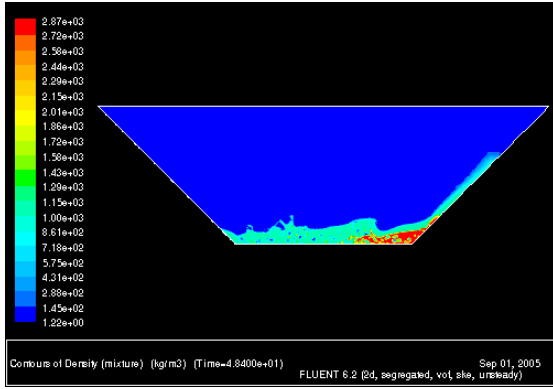
90



105



110



120

125

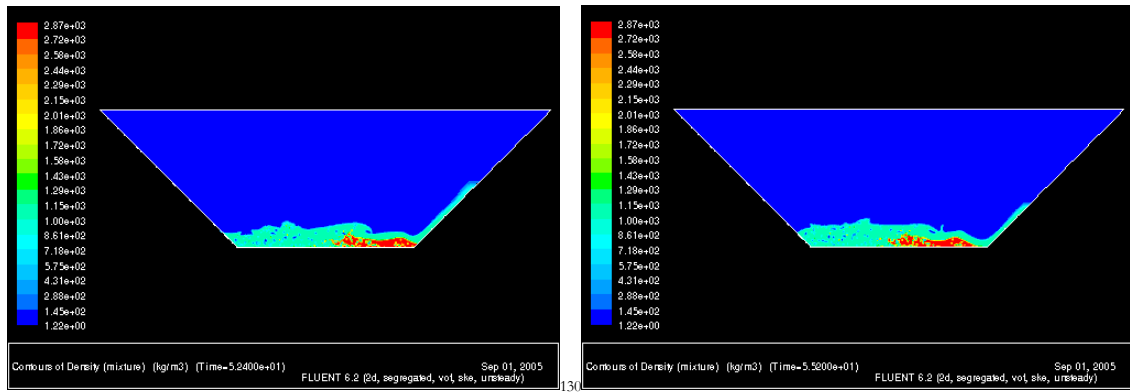


Figura 0-45: Simulazione fluidodinamica della frana sulla baia di Lituya.

## Bibliografia

- [1] R. M. Baltrusaitis, M. L. Gittings, R. P. Weaver, R. F. Benjamin and J. M. Budzinski, "Simulation of Shock-Generated Instabilities," *Phys. Fluids*, 8, 2471-2483 (1996).
- [2] Blevins, R.D. (1979). *Applied fluid dynamics handbook*. Van Nostrand Reinhold, New York
- [3] J. U. Brackbill, D. B. Kothe, and C. Zemach. A Continuum Method for Modeling Surface Tension. *J. Comput. Phys.*, 100:335-354, 1992.
- [4] "Catalogo dei Maremoti Italiani" (2004) pubblicato su *Natural Hazards*.
- [5] Cesari, G., 2005, Una tragedia chiamata "tsunami" - Il recupero di una memoria storica che si tende a dimenticare, *IdeAmbiente* - Anno 2, Numero 9, Febbraio 2005.
- [6] Dean, R.G., Dalrymple, R.A. (1991). *Water wave mechanics for engineers and scientists*. Advanced series on ocean engineering 2. World Scientific, Singapore.
- [7] Debnath, L. (1994). *Nonlinear water waves*. Academic Press, London
- [8] Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine, 2005, *Tsunami: un tragico evento naturale*, *IdeAmbiente* - Anno 2, Numero 9, Febbraio 2005.
- [9] Don J. Miller, "Giant Waves in Lituya Bay, Alaska" *Geological Survey Professional Paper 354-C*, U. S. Government Printing Office, Washington (1960).
- [10] Fritz, H., 2002 Initial phase of landslide generated impulse waves, PhD Thesis, Swiss Federal Institute of Technology Zürich.
- [11] Fritz, H.M., Hager, W.H., Minor, H.E., 2001, Lituya Bay Case: Rockslide Impact and Wave Run-Up, *The International Journal of The Tsunami Society*, Volume 19 Number 1, pp. 3-22.
- [12] Fritz, H.M. (2001). PIV applied to landslide generated impulse waves. *Laser techniques for fluid mechanics, selected papers from the 10<sup>th</sup> International Symposium: Lisbon 2000*, Portugal. Eds. Adrian, R. J. et al., Springer, New York.

[13] Hall, J.V., Jr., Watts, G.M. (1953). Laboratory investigation of the vertical rise of solitary

waves on impermeable slopes. Tech. Memo. 33, U.S. Army Corps of Engineers,

Beach Erosion Board.

[14] Hermann M. Fritz, Willi H. Hager and Hans-Erwin Minor, "Lituya Bay Case: Rockslide Impact and Wave Runup", Science of Tsunami Hazards, Volume 19, Number 1, pages 3-22 (2001).

[15] C. W. Hirt and B. D. Nichols. Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries. J. Comput. Phys., 39:201-225, 1981

[16] Harbitz, C.B. (1992). Model simulations of tsunamis generated by the Storegga slides. Mar. Geol. 105:1-21

[17] R. L. Holmes, G. Dimonte, B. Fryxell, M. L. Gittings, J. W. Grove, M. Schneider, D. H. Sharp, A. L. Velikovich, R. P. Weaver and Q. Zhang, "Richtmyer-Meshkov Instability Growth: Experiment, Simulation and Theory", J. Fluid Mech. 389, 55-79 (1999).

[18] Herbich, J.B. (1990). Handbook of coastal and ocean engineering 1. Gulf Publishing, Houston.

[19] Holst, M. (1977). Underwater explosions. Annu. Rev. Fluid Mech. 9:187-214.

[20] Horikawa, K. (1978). Coastal engineering: an introduction to ocean engineering. University of Tokyo Press.

[21] Horikawa, K. (1988). Nearshore dynamics and coastal processes: theory, measurement, and predictive models. University of Tokyo Press.

[22] Huber, A. (1980). Schwallwellen in Seen als Folge von Bergstürzen. VAW-Mitteilung 47, Ed. Vischer, D., Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich

[23] Hughes, S. (1993). Physical models and laboratory techniques in coastal engineering. Advanced series on ocean engineering 7. World Scientific, Singapore.



[24] Infeld e Rowlands (2000) Infeld, E., Rowlands, G. (2000). Nonlinear waves, solitons and chaos, 2nd ed.; Cambridge University Press

[25] Ippen, A.T. (1966). Estuary and coastline hydrodynamics. McGraw-Hill, New York.

[26] Lamb, H. (1932). Hydrodynamics, 6th ed., Dover Publications, New York.

[27] LeBlond and Mysak (1978) LeBlond, P.H., Mysak, L.A. (1978). Waves in the ocean. Elsevier Scientific, New York.

[28] LeMéhauté, B. (1976). An introduction to hydrodynamics and water waves. Springer, New York.

[29] Jiang, L., LeBlond, P.H. (1992). The coupling of a submarine slide and the surface waves which it generates. J. Geophys. Res. 97(C8):12'731-12'744.

[30] Johnson, C., Mader, C.L. (1994). Modelling the 105ka Lanai tsunami. Science of Tsunami Hazards 12(1):33-38.

[31] Johnson, R.S. (1997). A modern introduction to the mathematical theory of water waves. Cambridge University Press

[32] Kneubühl, F.K. (1997). Oscillations and waves. Springer, Berlin.

[33] Korsunsky, S. (1997). Nonlinear waves in dispersive and dissipative systems with coupled fields. Pitman Monographs and Surveys in Pure and Applied Mathematics 83. Addison Wesley Longman, Harlow, England.

[34] Lighthill (1978) Lighthill, J. (1978). Waves in fluids. Cambridge University Press.

[35] Lee, M., Longoria, R.G., Wilson, D.E. (1997). Cavity dynamics in high-speed water entry. Physics of Fluids 9(3):540-550.

[36] Mader C., Grittings M.(2002), Modeling the 1958 Lituya Bay mega tsunami II., Science of tsunami hazard , volume 20, number 5 page 241.

[37] Charles L. Mader, John D. Zumbro and Eric N. Ferm, "Proton Radiographic and Numerical Modelling of Colliding Diverging PBX-9502 Detonations," Twelfth International Symposium on Detonation, August 11-16, 2002, San Diego, California.

[38] Charles L. Mader, "Modeling the 1958 Lituya Bay Tsunami", Science of Tsunami Hazards, Volume 17, Number 1, pages 57-67.(1999).

[39] Charles L. Mader, Numerical Modeling of Water Waves, University of California Press, Berkeley, California (1988).

[40] Mei, C.C. (1989). The applied dynamics of ocean surface waves. Advanced series on ocean engineering 1. World Scientific, Singapore.

[41] Moore, G.W., Moore, J.G. (1988). Large-scale bedforms in boulder gravel produced by giant waves in Hawaii. Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 229:101-110.

[42] Moore, J.G., Moore, G.W. (1984). Deposit from a giant wave on the island of Lanai. Science 264:1312-1315.

[43] Nettel, S. (1995). Wave physics: oscillations – solitons – chaos, 2nd ed.; Springer, Berlin.

[44] Ortolani, F., 2005, Le coste italiane a rischio tsunami, IdeAmbiente - Anno 2, Numero 9, Febbraio 2005

[45] G. Pararas – Carayannis, (1999). Analysis of mechanism of tsunami generation in Lituya Bay. UC Press.

[46] Rahman, M. (1995). Water waves: relating modern theory to advanced engineering applications. Clarendon Press, Oxford.

[47] Remoissenet, M. (1999). Waves called solitons, 3rd ed.; Springer, Berlin.

[48] Sarpkaya and Isaacson (1981) Sarpkaya, T., Isaacson, M. (1981). Mechanics of wave forces on offshore structures. Van Nostrand Reinhold, New York.

[49] Simpson, R.L. (1989). Turbulent boundary-layer separation. Ann. Rev. Fluid Mech. 21:205-234.

[50] Silvester, R. (1974). Coastal engineering, 1. Developments in geotechnical engineering 4A. Elsevier, Amsterdam.

[51] Sorensen, R.M. (1993). Basic wave mechanics: for coastal and ocean engineers. John Wiley, New York.

[52] Stoker, J.J. (1957). Water waves. Interscience, New York.

[53] Stokes, G.G. (1847). On the theory of oscillatory waves. Trans. Cambridge Philos. Soc. 8:441-455.

[54] Tucker, M.J. (1991). Waves in ocean engineering – measurement, analysis, interpretation. Ellis Horwood, New York.

[55] Van der Meijde, M., Characteristics of Tsunamis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation

[56] Von Huerte, R., Bourgois, J., Miller, J., Pautot, G. (1989). A large tsunamogenic landslide and debris flow along the Peru Trench. J. Geophys. Res. 94:1703-1714.

[57] Wehausen, J.V., Laitone, E.V. (1960). Surface waves. Handbuch der Physik, Ed. Flügge, S., vol. 9, Strömungsmechanik III. Springer, Berlin.

[58] Whitham, G.B. (1974). Linear and nonlinear waves. John Wiley, New York.

[59] Wiegel, R.L. (1964). Oceanographical engineering. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

[60] Wiegel, R.L. (1955). Laboratory studies of gravity waves generated by the movement of a submerged body. Trans. Am. Geophys. Union 36(5):759-774.

[61] D. L. Youngs. Time-Dependent Multi-Material Flow with Large Fluid Distortion. In K. W. Morton and M. J. Baines, editors, Numerical Methods for Fluid Dynamics. Academic Press, 1982.

**INDICE**

<b>A.</b>	<b>APPENDICE: IL CASO DI STUDIO DI VIETRI SUL MARE</b> .....	<b>219</b>
A.1	L'AMBIENTE LITORALE DI VIETRI SUL MARE .....	219
A.2	L'EVENTO ALLUVIONALE DELL'OTTOBRE 1954.....	221
A.3	BIBLIOGRAFIA .....	229

## A. APPENDICE: IL CASO DI STUDIO DI VIETRI SUL MARE

### A.1 L'AMBIENTE LITORALE DI VIETRI SUL MARE

L'area costiera di Vietri sul Mare (Figura A-1) costituisce parte del fianco meridionale della penisola di Sorrento (Costa di Amalfi - Salerno), caratterizzato da coste alte localmente interrotte da aree litorali sabbiose sviluppate alla foce di torrenti maggiori. Questa struttura corrisponde alla parte emersa di un blocco di faglia immergente a NO e limitato da importanti faglie dirette sviluppate in senso antiappenninico e immergenti a SE ([3]; [18]). Altre faglie con lo stesso andamento limitano blocchi ribassati di substrato carbonatico presenti al fondo delle adiacenti depressioni costiere, la cui subsidenza ha permesso l'accumulo di grossi spessori di sedimenti quaternari valutabili intorno a 3000m nel Golfo di Napoli-Piana Campana e 1500m nel Golfo di Salerno-Piana del Sele. Tale assetto geologico era stato già individuato da [21] Walter (1886) e da [9] De Lorenzo (1904) a cui si devono i primi studi a carattere regionale eseguiti nel Golfo di Napoli e in Penisola Sorrentina (Figura A-2).

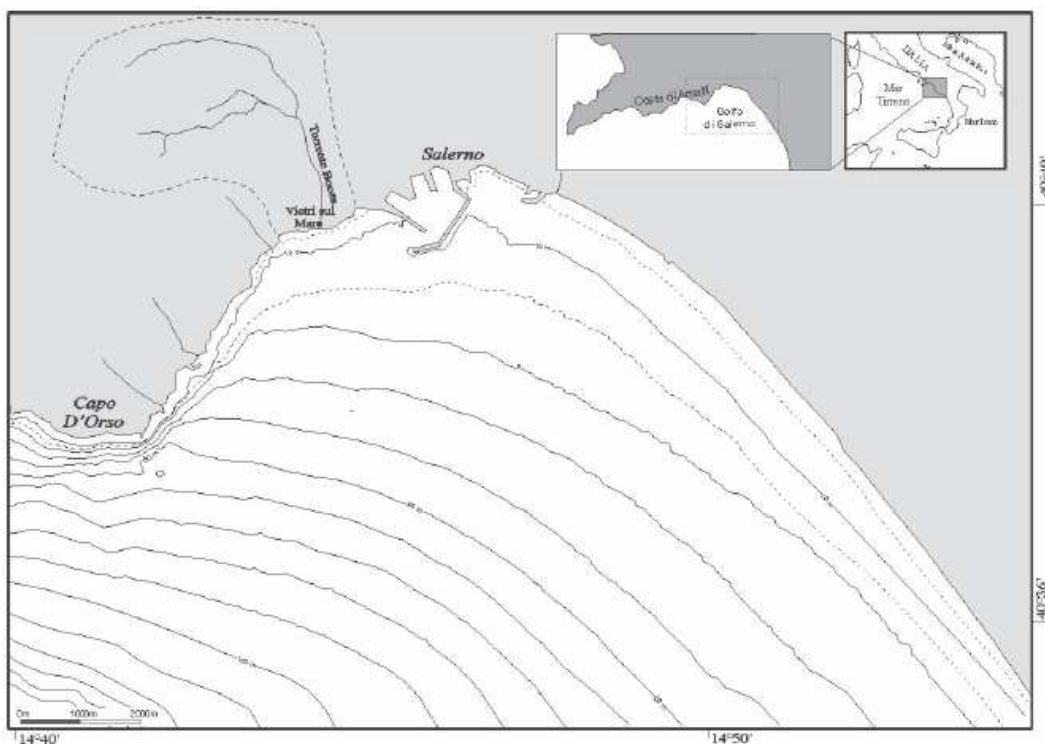


Figura A-1 Ubicazione dell'area di studio.

La Costa di Amalfi è prevalentemente composta da carbonati mesozoici tettonicamente sollevati a partire dal Pleistocene inferiore e discontinuamente ricoperti da depositi silicoclastici di età miocenica e da depositi alluvionali e vulcanoclastici. L'evoluzione geologica recente di tale area è, infatti, caratterizzata dalla presenza di piroclastiti derivanti dall'attività vulcanica quaternaria del Somma – Vesuvio, e di altri materiali sciolti maggiormente costituiti da breccie di pendio, depositi alluvionali e colluvioni. Depositivi vulcanici da caduta legati alla grande eruzione del 79 d.C. formano livelli di pomice e cineriti vulcaniche, documentati in affioramento ([6]; [7]) e sepolti a varie profondità nelle adiacenti aree marine costiere ([4], [8]; [16]). La scarsa consolidazione e il differente grado di permeabilità rispetto al substrato carbonatico su cui poggiano trasformano questi materiali in una coltre sedimentaria altamente instabile incline al distacco e allo scivolamento in occasione di eventi meteorici.

Eventi alluvionali e franosi hanno frequentemente interessato quest'area fin dal Medioevo, sottolineando la rapida morfodinamica dei versanti ([5]; [10] [11] [12] ). I fenomeni franosi sono di regola indotti da piogge intense che provocano il distacco delle coltri sedimentarie e il collasso di masse rocciose. Le frane coinvolgono flussi di materiali saturi d'acqua, comprendenti coperture vegetali e strutture antropiche, rapidamente mobilizzati verso valle e in grado di esporre ampie aree di substrato. Fenomeni meteorici intensi hanno inoltre prodotto gravi esondazioni delle aste torrentizie principali provocando danni ingenti alle infrastrutture e perdite significative di vite umane.

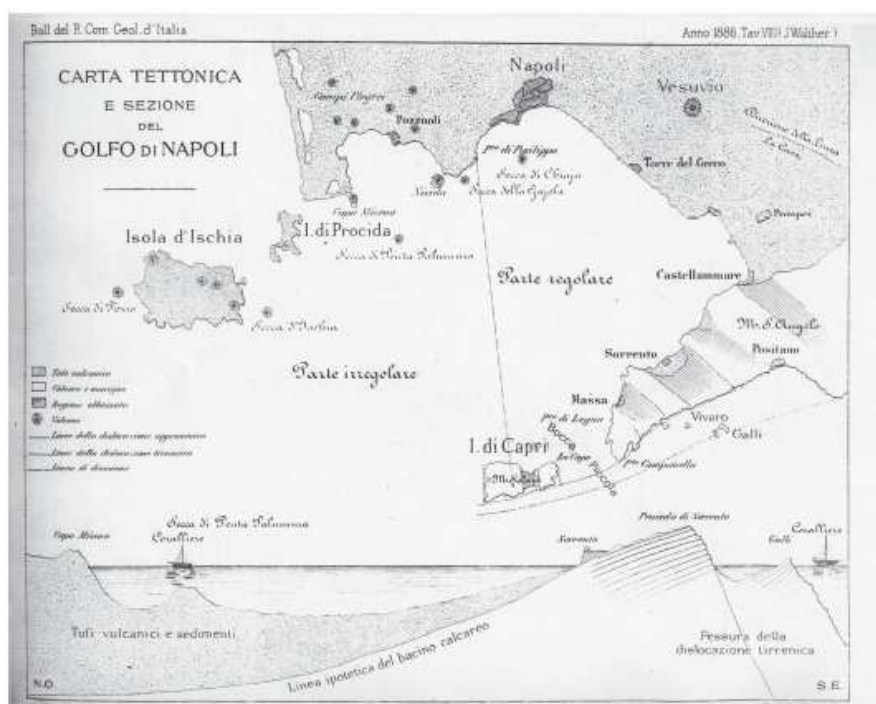


Figura A-2 Carta tettonica e sezione del Golfo di Napoli (Da Walter, 1886).

Il territorio di Vietri sul Mare si sviluppa all'interno di un piccolo bacino idrografico (il bacino del Torrente Bonea) formato da incisioni profonde nel substrato carbonatico e con recapito principale nelle adiacenti aree marine. Tale sistema, normalmente caratterizzato da scarse portate e carico sedimentario pressoché nullo, può enormemente aumentare il suo potere di trasporto in corrispondenza di piogge significative. La maggioranza delle attività produttive e dei centri abitativi si sviluppano nelle zone di trasferimento del bacino lungo gli stretti argini dell'asta torrentizia principale (Figura A-3), alla base di pendii acclivi (Molina di Vietri) o nell'area di foce (Marina di Vietri). Tale situazione espone l'area in oggetto ad un elevato rischio idrogeologico connesso a periodi di pioggia intensa. In particolare, il rischio associato alle alluvioni storiche documentate nell'area di Vietri sul Mare risulta dalla combinazione di fenomeni alluvionali e fenomeni franosi. Questi ultimi oltre a costituire un rischio a se stante, controllano anche le proporzioni e l'intensità dell'onda di piena attraverso il rifornimento di materiale direttamente trasportato dai versanti o incanalato lungo tributari nel corso d'acqua principale, facendone aumentare il carico sedimentario e il livello dell'acqua.



*Figura A-3 Edifici (fabbrica di ceramica Solimena, ex Notari) costruiti nell'alveo del Torrente Bonea presso marina di Vietri (Foto Violante).*

## **A.2 L'EVENTO ALLUVIONALE DELL'OTTOBRE 1954**

Il 25 ottobre di cinquant'anni fa, una perturbazione proveniente dall'Italia settentrionale si sposta verso il sud della penisola raggiungendo, nel pomeriggio dello stesso giorno, la provincia

---

di Salerno. A partire dalle ore 21 la normale perturbazione acquista le caratteristiche di un ciclone.

Il carattere assolutamente eccezionale della precipitazione che investì l'abitato di Salerno e le alture immediatamente circostanti, fu messo in evidenza già nel febbraio 1955 dalla Commissione di esperti insediata con decreto interministeriale del 12 novembre 1954, che aveva il compito di proporre interventi di sistemazione dei torrenti nelle zone colpite dall'alluvione.

Il valore della piovosità registrata a Salerno si rivelò superiore ai cinquecento millimetri, per la durata di sedici ore, mentre la massima intensità oraria fu dell'ordine di centocinquanta millimetri. Entrambi i valori si rilevano, in assoluto, i più alti registrati in tutta la Costiera Amalfitana. Infatti, il Prof. Ing. Pietro Frosini, Presidente della IV Sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, in base ai dati raccolti dalla Sezione Idrografica di Napoli, riportava che *“Nella serie delle precipitazioni giornaliere (di 24 ore), che per Salerno si estende con pochissime lacune, da oltre ottant'anni non si rintraccia un valore che raggiunga la metà di quello misurato la notte del disastro, per la durata di non più di dieci ore...Nubifragi di notevole violenza si sono abbattuti invece con relativa frequenza negli ultimi decenni sulla costiera amalfitana, recando danni gravi a centri abitati e provocando rovinose frane. Però nemmeno per la costiera il materiale pluviometrico, del quale presentemente si dispone, offre valori paragonabili a quelli misurati nell'ottobre scorso: il massimo giornaliero finora registrato non arriva infatti a 300 millimetri, di modo che anche qui furono decisamente superati, e di molto, tutti i precedenti noti”* (Cassa per opere straordinarie di pubblico interesse nell'Italia meridionale. Prima Relazione della Commissione per i provvedimenti nelle zone alluvionate del Salernitano, 1955).

Ulteriori studi, effettuati dallo stesso Frosini, mostravano che il valore massimo delle precipitazioni registrato a Salerno, confrontato con i valori delle precipitazioni massime registrati nel periodo 1919-1953 risultava *“più che doppio sia della massima giornaliera che di quella con durata di cinque giorni misurate a Salerno”* essa *“è stata di poco inferiore alla massima mensile”* calcolata su un periodo maggiore dei 35 anni ([13]).

L'area interessata dall'alluvione, estesa in direzione est-ovest, fu di oltre 500 km<sup>2</sup>, da Campagna a Ravello e da Battipaglia a Nocera Inferiore. Le zone più colpite si estesero per oltre 300 km<sup>2</sup>, da Minori a Salerno e da Giffoni Vallepiiana ad Olevano sul Tusciano.

Il massimo degli effetti piovosi si verificò, invece, su una superficie di circa 100 km<sup>2</sup> comprendente una stretta fascia costiera – la Costa di Amalfi – con direzione NO-SE, interessando i bacini dei Torrenti Rafastia, Fusandola, Bonea, Cetus, Regina Maior e Regina Minor.



La massima intensità della pioggia si concentrò entro un raggio di circa 5 Km intorno al Monte San Liberatore, interessando i centri abitati di Salerno, Cava de' Tirreni e Vietri sul Mare, laddove anche l'impatto catastrofico, in termini di danno e numero di vittime, fu maggiore. Danni consistenti si verificarono anche a Maiori, Minori e Tramonti dove, oltre ai centri principali, furono colpite le numerose frazioni diffuse sul territorio (Figura A-4).

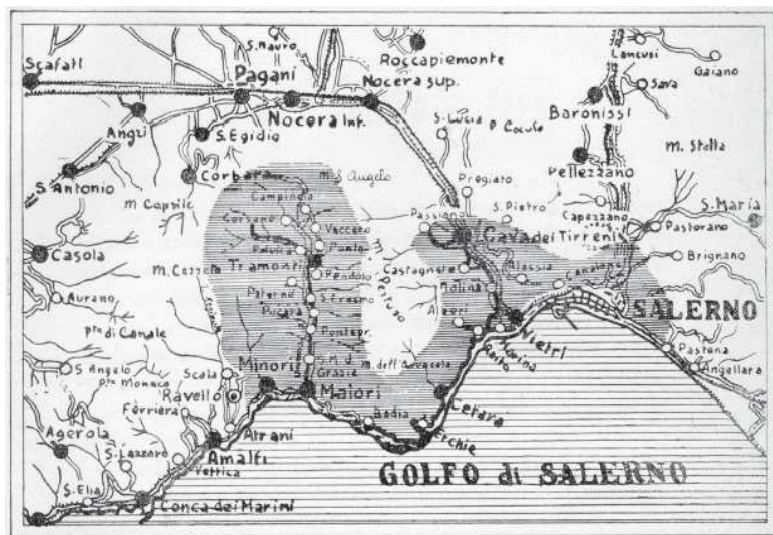


Figura A-4: Mappa dell'area maggiormente colpita dall'alluvione del 1954, (disegno riportato da Candido da Altavilla Silentina, 1955).

Le conseguenze dell'enorme precipitazione furono aggravate dai numerosi fenomeni franosi che si verificarono contestualmente all'evento meteorologico. Infatti, la particolare situazione geomorfologica della costiera amalfitana, caratterizzata da ripidi versanti carbonatici profondamente dissecati da corsi d'acqua effimeri e ricoperti sia da depositi piroclastici del vulcanismo vesuviano sia da depositi colluviali e detritici, favorisce, in caso di elevata piovosità, il distacco del materiale di copertura inducendo fenomeni franosi di diversa tipologia e grandezza (denudamento delle coltri piroclastiche, fenomeni di soil slip, mud e debris flow).

A quattro mesi dal disastro un bilancio complessivo dei danni fu presentato al Governo per far seguito agli stanziamenti da destinare a ciascuna località colpita. In particolare l'ammontare dei danni solo nelle località di Salerno e Vietri sul Mare fu calcolato in 316 vittime, 10.064 senza tetto, 320 fabbricati distrutti e 279 fabbricati danneggiati, per un totale di 45 Miliardi di Lire ([20]). Gli effetti sul territorio furono devastanti, i danni maggiori si verificarono, comunque, lungo le aste principali dei torrenti e alla foce degli stessi.

La zona occidentale del Porto di Salerno subì danni ingentissimi col crollo e il seppellimento di interi edifici posti immediatamente a valle di sviluppate incisioni di versante. In particolare il Rione Olivieri, fra Via Indipendenza e Via de Marinis (Figura A-5), fu travolto da una frana

staccatasi dal Monte San Liberatore: i palazzi Caiafa, Mazzariello, e Bassi crollarono quasi totalmente; interi tratti della strada statale Salerno-Vietri sprofondarono sulla spiaggia sottostante e sui quartieri del Porto. Intere famiglie distrutte. Il rione Canalone, a valle dell'omonimo impluvio, subì numerosi danni con diversi crolli di abitazioni, la chiesa di San Gaetano fu “letteralmente spazzata via”. L'adiacente quartiere Annunziata fu completamente invaso dal fango, dall'acqua e dai detriti provenienti da monte. La chiesa dell'Annunziata Maggiore fu danneggiata dalla pressione del fango che “*scardinò la porta principale e invase la chiesa fino all'altezza di m. 1,70 devastando tutta la suppellettile*” [2]. Buona parte delle strade di Salerno furono invase dal fango e dall'acqua, la Villa Comunale ed i giardini della litoranea furono ricoperti da uno spesso strato di melma (Figura A-6).

La Via Roma, il Corso Garibaldi, così come il lungomare ed ampie zone di Via Mercanti rimasero isolate. L'accumulo dei detriti nei pressi della spiaggia di Santa Teresa provocò una lieve variazione delle linea di costa.

Le comunicazioni ferroviarie e stradali, da e per Salerno, furono interrotte per i seri danni subiti a causa dei numerosi fenomeni franosi. Nella città di Salerno si registrarono 108 vittime.



Figura A-5 Salerno, Rione Olivieri, crollo di abitazioni lungo la Strada Statale 18 Vietri sul Mare - Salerno (Foto Parisio 1954, Archivio EPT, Salerno).

La situazione più drammatica si verificò nella piccola frazione di Cava de' Tirreni, Alessia, posta sul versante Nord del Monte San Liberatore, dove “una imponente massa di terreno e di roccia, staccandosi dalla montagna ha investito il centro della frazione sradicando oltre dieci case e seppellendo in un burrone oltre trenta persone” ([15]). Alessia, oltre altre frazioni tra cui Dupino, Marini e Vicaro, restarono completamente isolate per l'accumulo del fango e del materiale detritico che raggiunse l'altezza di vari metri. Ai chilometri 46 e 47 della strada statale

18, nel territorio di Cava, si verificarono scosciamenti su entrambi i versanti della valle, provocando l'interruzione della linea ferroviaria e l'ostruzione della strada. Le frazioni Castagneto, San Cesareo e San Pietro subirono diversi danni e la morte di alcune persone. Lungo la strada provinciale Cava de' Tirreni-Vietri, nei pressi della Badia della Santissima Trinità, insigne monumento nazionale, si verificarono crolli di muri di sostegno e asportazione dei parapetti; il ponte presso il bivio per Corpo di Cava riportò gravi dissesti.



*Figura A-6 Salerno, accumulo di materiale alluvionale sul lungomare (Foto Parisio1954, Archivio EPT, Salerno).*

Il territorio comunale di Vietri sul Mare fu gravemente colpito, le frazioni di Molina e Marina subirono danni devastanti. A Molina, l'effetto congiunto dell'esondazione del Torrente Bonea ed il dilavamento dei versanti provocò danni irrimediabili all'intero centro abitato: una trentina di abitazioni e l'intero nucleo industriale furono completamente distrutti, mentre il complesso della Chiesa di S. Maria della Neve riportò danni serissimi al lato orientale. Elevatissimo fu il numero di morti. L'antico ponte-acquedotto medievale, conosciuto come "Ponte dei Diavoli", uscito indenne anche dai bombardamenti del 1944, fu gravemente danneggiato crollando per buona parte. A Marina di Vietri, l'antico borgo marinaro venne completamente stravolto nella sua struttura originaria: una quindicina di palazzi e cantieri costruiti lungo le rive del torrente vennero scalzati alle fondamentazioni e abbattuti dall'onda di piena "Una fascia trasversale di case dall'alto in basso, sulla direttrice del torrente, è completamente distrutta" ([17]). Il carico solido del materiale trasportato a mare dal Torrente Bonea modificò la spiaggia di Marina, creando un ampio delta della lunghezza di 130 metri. Movimenti franosi si registrarono su tutto il territorio comunale: a Benincasa, la zona centrale del cimitero venne investita da un debris flow, che trasportò diverse bare fino alla spiaggia di Marina.

A Raito si innescò una frana di grandi dimensioni che precipitò direttamente a mare. Nella frazione di Albori uno scoscendimento di notevoli porzioni interessò il lato occidentale del versante investendo alcune abitazioni e provocando due vittime. A Marina d'Albori, il trasporto solido operato dall'omonimo torrente innalzò di alcuni metri la spiaggia preesistente, provocando, inoltre, un modesto avanzamento della linea di costa con la formazione di un piccolo delta. A causa dei numerosi fenomeni gravitativi ingenti danni si verificarono alle strade e alla rete ferroviaria. Nel bacino del Regina Maior si ebbero fenomeni confrontabili a quelli occorsi nel bacino del Bonea. In particolare, il centro urbano di Maiori, attraversato dal Torrente Regina Maior riportò danni gravissimi lungo il Corso Regina in seguito allo sfondamento di due tratti tombati. Le abitazioni latitanti a seguito dell'inondazione crollarono in buona parte (Figura A-7): *“ai lati del Corso Regina la violenza delle acque provocò il crollo di numerosi palazzi fra i quali quello dei Pagliara, Cioffi, De Martino, Crescenzo, Zitara, Guadagno, Rosso, Di Bianco, Ferrara, e parte del fabbricato Cimmino”* ([1]). Crollarono i ponti di comunicazione da e per Maiori; la strada statale fu interrotta dalle frane. L'apporto del materiale detritico a mare determinò, la formazione di un delta temporaneo della lunghezza di un centinaio di metri. Trentaquattro persone persero la vita. Nelle frazioni montane, Ponteprimario, Ferriera, Vecite, S. Maria delle Grazie, S. Pietro, estesi fenomeni franosi modificarono l'assetto territoriale, travolsero strade, ponti, abitazioni e le numerose cartiere poste lungo il corso del Torrente Regina Maior. Nel vallone Fondi la strada fu coperta da detriti con spessori dell'ordine di una decina di metri ([19]). Notevoli fenomeni di sovralluvionamento si verificarono anche a Vecite e Ponteprimario dove *“i torrenti hanno rialzato i loro letti ... addirittura di quattordici metri”* ([14] Il Gallo, 1954).



Figura A-7 Maiori, completo sfondamento della copertura del canalone che raccoglieva le acque del Torrente Regina Maior (Foto del Servizio Idrografico e Mareografico di Napoli, 1954).

A Tramonti si verificarono numerosi crolli di edifici; le frazioni Zepa, Paccara e Novella furono completamente invase dalle acque, il numero dei morti ascese a venticinque. Ampi fenomeni franosi interessarono i versanti montuosi: *“nella zona chiamata Ponte di Zio Paolo, la terra si è aperta improvvisamente in una voragine di circa cinquecento metri di lunghezza e cento di larghezza, che partendo dalla Chiesa di S. Antonio di Novella, si congiunge direttamente con la località Molino di Ferriera, travolgendo due fabbricati e tredici persone ... In località Foce, oltre la caduta di vastissime frane, si è avuto addirittura il crollo di cocuzzoli di roccia nuda”* ([1]).

Nel bacino del Torrente Regina Minor i danni furono relativamente meno gravi (Figura A-8). A Minori saltarono completamente i tratti tombati del torrente, fenomeni di esondazione si verificarono nella parte bassa della cittadina, sventrando case e negozi.

L'area maggiormente danneggiata fu compresa tra Via Fiume, Piazza Umberto I e Piazza Cantilena. Dalle località Fasano e Aiola, site più a monte, franarono migliaia di metri cubi di materiale detritico e fango che colpirono in modo grave le cartiere di Via Fasano ed il complesso archeologico della Villa Romana, che fu completamente sommerso. Distrutto il ponte di comunicazione con Maiori. In totale si ebbero tre vittime.



*Figura A-8 Minori, danni prodotti dall'alluvione lungo la costa (Foto Parisio1954, Archivio EPT, Salerno).*

I danni prodotti dall'alluvione furono sintetizzati nella relazione De Martino-Sanza, presentata al Governo, dove si evince la precisa destinazione dei fondi stanziati: danni per 3.100 milioni alle strade comunali e vicinali, 3.000 milioni per le fognature, 3.100 milioni per gli edifici pubblici, 2.200 milioni per le industrie, 1.400 per le aziende commerciali, 2.000 milioni per i danni alle famiglie, ben 6.500 milioni per le sistemazioni fluviali e montane, 700 per gli acquedotti, 7.000 per i fabbricati, 1000 per le botteghe artigiane, 2000 per l'agricoltura e ben 300 per le strade e ferrovie.

### A.3 BIBLIOGRAFIA

[1] *Amalfi la Costiera Azzurra, (annata del 1954)*

[2] Bergamo G., (1971-1973) *Costruzioni e ricostruzioni nell'Archidiocesi di Salerno e nell'Amministrazione perpetua di Acerno. Battipaglia, 4 voll., Graf-Sud.*

[3] Brancaccio L., Cinque A., Romano P., Roskopf C., Russo F. & Santangelo N., (1995) *L'evoluzione delle pianure costiere della Campania: geomorfologia e neotettonica. Mem. Società Geografica Italiana, 53, 313–336.*

[4] Buccheri G., Capretto G., Di Donato V., Esposito P., Ferruzza G., Pescatore T., Russo Ermolli E., Senatore M.R., Sprovieri M., Bertoldo M., Carella D., Madonna G., 28 (2002) *A high resolution record of the last deglaciation in the southern Tyrrhenian Sea: environmental and climatic evolution. Mar. Geol., 186, 447-470.*

[5] Cascini L. & Ferlisi S., (2003) *Occurrence and consequences of flowslides: a case study. In: Fast Slope Movements Prediction and Prevention for Risk Mitigation (ed. by L. Picarelli) AGI, 1, 85–92.*

[6] Cinque A., Robustelli G., Russo M., (2000) *The consequences of pyroclastic fallout on the dynamics of mountain catchments: geomorphic events in the Rivo D'Arco basin (Sorrento Peninsula, Italy) after the plinian eruption of Vesuvius in 79 AD. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 23, 117-129.*

[7] Cinque A. (a cura di), (1986) *Guida alle escursioni geomorfologiche: Penisola Sorrentina, Capri, Piana del Sele e Monti Picentini. Dip. Sc. Della Terra Napoli, 33, 49-55.*

[8] Conforti A., (2003). *Stratigrafia integrata della sequenza Tardo-Quaternaria del settore settentrionale del Golfo di Salerno e di quello meridionale del Golfo di Napoli. Tesi di Dottorato in Scienze ed Ingegneria del Mare, Università Federico II di Napoli, 144 pp.*

[9] De Lorenzo A., (1904) *Geologia dell'Italia meridionale. E.P.S.A. Editrice Politecnica S.A.*

[10] Esposito E., Porfido S., Violante C., (2003a) *Reconstruction and recurrence of flood-induced geological effects: the Vietri sul Mare case history (Amalfi coast, Southern Italy). In: Fast Slope Movements Prediction and Prevention for Risk Mitigation (ed. by L. Picarelli). AGI, 1, 169–172.*

[11] Esposito E., Porfido S., Violante C., Alaia F., (2003b) *Disaster induced by historical floods in a selected coastal area (Southern Italy). In: PHEFRA Palaeofloods, Historical Data & Climatic Variability: Application in Flood Risk Assessment (ed. by V. R. Thorndycraft, G. Benito, M. Barriendos & M. C. Llasat), Proc. Barcelona, Spain, Workshop, October 2002, 143–148.*

[12] Esposito E., Porfido S., Violante C., Biscarini C., Alaia F., Esposito G., (2004) *Water events and historical flood recurrences in the Vietri sul Mare coastal area (Costiera Amalfitana, southern Italy). Proceedings of the UNESCO/IAHS/IWHA Symposium on "The Basis of Civilization – Water Science?", Rome, IAHS, 286, 95-106.*

[13] Frosini P., (1955). *Il nubifragio di Salerno del 25-26 Ottobre 1954. Giornale Genio Civile, 3-4, 179-188*

[14] *Il Gallo*, (annata del 1954).

[15] *Il Mattino*, (annata del 1954).

[16] *Insinga D.*, (2003) *Tefrostratigrafia dei depositi tardo-quadernari della fascia costiera campana. Tesi di Dottorato in Scienze ed Ingegneria del Mare, Università Federico II di Napoli, 202 pp.*

[17] *L'Unità*, (1954).

[18] *Milia A. & Torrente M.*, (1999) *Tectonics and stratigraphic architecture of a peri-Tyrrhenian half-graben (Bay of Naples, Italy). Tectonophysics, 315, 301-318.*

[19] *Penta F., Lupino R., Camozza F., Esu F.* (1954) *Effetti dell'alluvione del 26 ottobre 1954 nel Salernitano. Rivista Italiana di Geotecnica, 6, 245-257.*

[20] *Quadrante*, (annata del 1955).

[21] *Walter J.*, (1886) *I vulcani sottomarini del Golfo di Napoli. Boll. R. Comitato Geologico d'Italia, 17, 360-369.*



**INDICE**

**B. APPENDICE : SCHEDE..... 232**

**B. APPENDICE : SCHEDE**

SCHEDA MONUMENTO - Codice bene: A	
<u>Sezione 1: Dati Identificativi</u>	
ANAGRAFICA	
1.1 Denominazione	<i>Chiesa di S. Maria della Neve</i>
1.2 Proprietario	<i>Curia</i>
1.3 Provincia	<i>Salerno</i>
1.4 Comune	<i>Vietri sul Mare</i>
1.5 Località/ Frazione	<i>Molina</i>
1.6 Indirizzo	
<u>LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO - AMMINISTRATIVA</u>	
1.7 Sistema di riferimento	<i>UTM-ED 50 FUSO 33</i>
1.8 Easting	<i>4765662.61 m</i>
1.9 Northing	<i>4503589.15 m</i>
1.10 Quota s.l.m.	<i>76 m</i>
1.11 Dati Catastali	<i>UTE Foglio V, A del 1905</i>
1.12 Morfologia del sito	<i>Fondovalle piano, in parte nel greto del torrente</i>
1.13 Bacino Idrografico	<i>Torrente Bonea</i>
1.14 Sponda	Sinistra <input type="checkbox"/> Destra <input type="checkbox"/>
<i>CONFLUENZA: Torrente Bonea e S. Francesco</i>	
<u>Sezione 2: Dati Storici</u>	
2.1 Data costruzione	<i>XVI -XVII secolo</i>
2.2 Uso Storico	<i>Culto</i>
2.3 Proprietari	<i>Clero</i>

## 2.4 Materiale documentale

Allegato n°	Tipo Documento	Fonte	Anno	Luogo	Qualità	Note
1 (Fig 4.29)	Foto	A. Miranda	1971	Molina-Vietri sul Mare	Buona	
2 (Fig 4.30)	Disegno	Anonimo	Fine '800	Molina-Vietri sul Mare	Buona	Collezione privata
3 (Fig 4.31)	Stampa	Route de Naples à Salerne, Remond	1831	Molina-Vietri sul Mare	Buona	Collezione privata
4 (Fig 4.32)	Foto	Parisio-EPT	1954	Molina-Vietri sul Mare	Ottima	Coll. EPT, Salerno
5 (Fig 4.33)	Foto	A. Miranda	1971	Molina-Vietri sul Mare	Buona	

## 2.5 Eventi calamitosi

Data	Descrizione	Fonte	Note
9.11.1773	Allagamenti e frane a Molina	AS SA- 1773	Alluvione devastante che colpisce principalmente Cava de' Tirreni, Nocera e Salerno.
25.12.1796	Crolli tra Castagneto e Molina	AS SA-1796	Alluvione che colpisce principalmente Cava de' Tirreni.
24.01.1823	Fenomeni franosi a Molina	AS SA-1823	Alluvione che colpisce Cetara, Cava de' Tirreni, Salerno e la Valle del Sarno.
26.10.1843	Una colata detritica investe Molina	AS SA-1843	Alluvione che colpisce Maiori.
18.03.1845	Fenomeni franosi investono Molina	AS SA-1845	Alluvione che colpisce Maiori.
7.10.1899	A Molina furono distrutte completamente cinque manifatture tessili poste lungo le sponde del torrente, frane.	Archivio Storico Vietri sul Mare, 1899; AS SA, 1899	Alluvione devastante che colpisce principalmente Giffoni sei casali, Castiglione dei Genovesi, Nocera e Salerno.
26.10.1954	Crollato il lato orientale e parte del tetto della chiesa di S. Maria della Neve.	Miranda, 1971; Esposito et al., 2003a ,b; Casciello et al., 2004	Alluvione devastante che colpisce principalmente Vietri sul Mare, Salerno, Cava de' Tirreni, Maiori, Minori e Tramonti. Devastazione quasi completa di fabbricati e industrie lungo il Bonea, numerosi dissesti idrogeologici su tutto il territorio.

## NOTIZIE STORICHE

La chiesa parrocchiale di Molina – lunga m. 24 e larga 14 - era ubicata proprio alla confluenza dei due torrenti, Bonea e S. Francesco, quasi sorgente dalle acque. La facciata, verso l'abitato, aveva tre porte d'ingresso, con a fianco due campanili, di cui uno dell'oratorio dell'arciconfraternita inglobato nel compendio. Le vecchie foto panoramiche di Molina la ritraggono dalla parte posteriore. La sagrestia era sorretta da un arco di fabbrica sullo stretto letto del fiume. Nella volta vi erano dipinti l'Assunzione, la fuga in Egitto, e l'incontro della Vergine con S. Elisabetta. Oltre all'altare maggiore vi erano otto altari laterali (S. Antonio, Madonna di Pompei, S. Cuore, S. Leone abate, Addolorata, Crocifisso, S. Giuseppe, S. Anna). Il Carraturo (fine XVIII sec.) la considerava "di poca ampiezza, ma bastante al suo uso, divisa in tre navi, e che (malgrado le alluvioni più di una volta sofferte), è ornata, pulita, ed accresce con suo aspetto la sopraccennata graziosa prospettiva di tal Casale, avendo anche al detto suo lato destro un decente Oratorio, o sia Confraternita di laici".

La chiesa originaria sarebbe stata proprio l'oratorio della confraternita di S. Maria a Ponte, che per comodità logistica (la chiesa parrocchiale era quella di S. Maria della Purificazione del casale di Vetranto) cominciò a svolgere le funzioni di culto per l'intera popolazione del casale di Molina; nel 1628 la chiesa della Madonna della Neve venne dichiarata succursale della parrocchia di Vetranto e nel 1647 assunse il ruolo di parrocchia autonoma. L'edificio nel 1685, a devozione dei fedeli ed in particolare di Giuseppe Orilia, fu ingrandito: si trasformò la volta, si elevò la cupola, si allungò il vano, e si crearono altre sepolture. Nel 1885 vi furono alcuni restauri: l'altare maggiore fu retrocesso al posto del coretto, si fecero degli ornati di stucco, si dipinse la volta, e si edificò la sagrestia a cavallo del fiume Bonea. La chiesa fu sostanzialmente compromessa dall'alluvione del 1954. Le foto la rappresentano tagliata a metà in senso longitudinale, con il tetto crollato, la facciata ed il campanile occidentale quasi intatti; sulla parete rimasta in piedi (della congrega) si notano delle tele o affreschi in cornici di stucco. La statua della Madonna delle Neve rimase indenne, mentre la statua dell'Immacolata fu trovata a Marina di Vietri. La scelta delle autorità, fu di abbattere la residua parte e ricostruire la nuova chiesa di fronte ed in posizione più riparata. La demolizione è testimoniata da un servizio televisivo di Ugo Gregotti. (A. Tesauero)

## Bibliografia essenziale

Archivio Storico Comune di Vietri sul Mare, 1899.

AS SA, Prefettura 1899.

Carraturo A., (fine XVIII sec.) *Ricerche storico-topografiche della città e territorio della Cava* (manoscritto pubblicato a stampa nel 1976), trascrizione a cura di A. Santoli, Cava, Tip. Di Mauro.

Casciello E., Cesarano M., Esposito E., Esposito G., Pappone G., Piacquadio G., Porfido S., Violante C., (2004) *Dissesti idrogeologici nel bacino del Bonea, Costiera Amalfitana (Salerno)*. Atti Accademia Nazionale dei Lincei, XXI Giornata dell'Ambiente: Aree costiere in Italia, 1-11.

Esposito E., Porfido S., Violante C., Alaia F., (2003a) *Disaster induced by historical floods in a selected coastal area (Southern Italy)*. PHEFRA (Palaeofloods, Historical Data & Climatic variability: Application in Flood Risk Assessment), Proc., Edited by: V.R. Thorndycraft, G. Benito, M. Barriendos & M.C. Llasat, 143-148.

Esposito E., Porfido S., Violante C., (2003b) *Reconstruction and recurrence of flood-induced geological effects: the Vietri sul Mare case history (Amalfi coast, Southern Italy)*. AGI, Fast slope movements prediction and prevention for risk mitigation, 1, 169-172.

Miranda A., (1971). *Molina di Vietri sul Mare dalle origini ai giorni nostri*. Jannone Ed., Salerno.

### Sezione 3: Descrizione fisico – tipologica

3.1 Tipologia

3.2 Destinazione d'uso *Chiesa*

3.3 Materiale costruttivo

3.4 Stato di conservazione *Inesistente-Distrutta dall'alluvione del 1954*

3.5 Dati dimensionali

Forma	rettangolare
Numero piani	3
Dimensioni estreme	
Altezza massima	
Altezza minima	
Dimensione maggiore	24 m
Dimensione minore	14 m
Dati planovolumetrici	
Superficie coperta	
Volume	

### Sezione 4: Interventi di manutenzione, ristrutturazione.

Anno	Descrizione	Documentazione	Link
1685	Trasformazione della volta e della cupola	Carraturo ( XVIII sec.) Miranda (1971).	
1885	Restauro interni e costruzione della sagrestia	Miranda (1971).	



*Figura 4.29* - Molina, facciata della vecchia chiesa di S. Maria della Neve (da A. Miranda, *Molina di Vietri sul Mare dalle origini ai giorni nostri*, Salerno, 1971).



*Figura 4.30* - Molina, la vecchia chiesa della Madonna della Neve vista dal ponte della consolare in un disegno anonimo di fine '800 (Coll. Privata).

*Figura 4.31* - Molina, la vecchia chiesa di S. Maria della Neve (Stampa Route de Naples à Salerne (Vietri), Remond, Imp. Lith de Delphéc, 1831, (Coll. Privata).



*Figura 4.32* - Molina, la vecchia chiesa di S. Maria della Neve subito dopo l'alluvione del 1954, è evidente il crollo parziale del tetto e dell'intero lato orientale (Foto Parisio, Coll. EPT, Salerno, 1954).



*Figura 4.33* - Molina, la nuova chiesa di S. Maria della Neve inaugurata nel 1965, fu ricostruita non lontano dalla vecchia, in un sito più sicuro (da A. Miranda, *Molina di Vietri sul Mare dalle origini ai giorni nostri*, Salerno, 1971).



SCHEMA MONUMENTO - Codice bene: B

Sezione 1: Dati Identificativi

---

ANAGRAFICA

- |                        |  |
|------------------------|--|
| 1.1 Denominazione      | <i>Ponte acquedotto delle Traverse</i> |
| 1.2 Proprietario       | <i>Comune di Vietri sul Mare</i>       |
| 1.3 Provincia          | <i>Salerno</i>                         |
| 1.4 Comune             | <i>Vietri sul Mare</i>                 |
| 1.5 Località/ Frazione | <i>Molina</i>                          |
| 1.6 Indirizzo          |  |

LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO - AMMINISTRATIVA

---

- |                            |   |
|----------------------------|---|
| 1.7 Sistema di riferimento | <i>UTM-ED 50 FUSO 33</i>  |
| 1.8 Easting                | <i>476621.44 m</i>  |
| 1.9 Northing               | <i>4503238.01 m</i>   |
| 1.10 Quota s.l.m.          | <i>70-92 m</i>  |
| 1.11 Dati Catastali        |   |
| 1.12 Morfologia del sito   |   |
| 1.13 Bacino Idrografico    | <i>Torrente Bonea</i>   |
| 1.14 Sponda                | Sinistra <input checked="" type="checkbox"/> Destra <input checked="" type="checkbox"/> |
- Collegamento tra le due sponde.*

Sezione 2: Dati Storici

---

- |                      |                   |
|----------------------|-------------------|
| 2.1 Data costruzione | <i>XIV secolo</i> |
| 2.2 Uso Storico      | <i>Acquedotto</i> |
| 2.3 Proprietari      |                   |



## 2.4 Materiale documentale

Allegato n°	Tipo Documento	Fonte	Anno	Luogo	Qualità	Note
1 (Fig. 4.34)	Disegno	E. Gin	1859	Molina, Vietri sul Mare	Buona	Collezione privata
2 (Fig. 4.35)	Stampa	G. Favai	1927	Molina, Vietri sul Mare	Buona	Collezione privata
3 (Fig. 4.36)	Foto	A. Schiavo	Anni '50	Molina, Vietri sul Mare	Buona	Pubblicazione EPT, Salerno
4 (Fig. 4.37)	Foto	C. Violante	2004	Molina, Vietri sul Mare	Ortima	Collezione CNR-IAMC Napoli

## 2.5 Eventi calamitosi

Data	Descrizione	Fonte	Note
9.11.1773	Allagamenti e frane a Molina	AS SA- 1773	Alluvione devastante che colpisce principalmente Cava de' Tirreni, Nocera e Salerno.
25.12.1796	Crolli tra Castagneto e Molina	AS SA-1796	Alluvione che colpisce principalmente Cava de' Tirreni.
24.01.1823	Fenomeni franosi a Molina	AS SA-1823	Alluvione che colpisce Cetara, Cava de' Tirreni, Salerno e la Valle del Sarno.
26.10.1843	Frana di detriti a Molina	AS SA-1843	Alluvione che colpisce Maiori.
18.03.1845	Fenomeni franosi investono Molina	AS SA-1845	Alluvione che colpisce Maiori.
7.10.1899	A Molina furono distrutte completamente cinque manifatture tessili poste lungo le sponde del torrente, frane.	Archivio Storico Vietri sul Mare, 1899; AS SA, 1899	Alluvione devastante che colpisce principalmente Giffoni sei casali, Castiglione dei Genovesi, Montecorvino Rovella, Curticelle, Cava de' Tirreni, Nocera e Salerno.
26.10.1954	Crollo quasi totale del ponte acquedotto.	Miranda, 1971; Esposito et al., 2003a, b; Casciello et al., 2004	Alluvione devastante che colpisce principalmente Vietri sul Mare, Salerno, Cava de' Tirreni, Maiori, Minori e Tramonti. Devastazione quasi completa di fabbricati e industrie lungo il Torrente Bonea, numerosi dissesti idrogeologici su tutto il territorio.

## NOTIZIE STORICHE

*Ponte delle Traverse o "dei diavoli".*

Il ponte che sorreggeva l'acquedotto delle Traverse, singolare testimonianza architettonica medievale, fu abbattuto quasi del tutto dall'alluvione del 1954. La costruzione del ponte, che favorì e sancì l'evoluzione socio-economica del casale di Vietri, ebbe luogo a seguito della convenzione con il Monastero della SS. Trinità di Cava.

Nel 1320 l'abate Filippo De Haya concedeva infatti per metà a Riccardo Scattaretica di Salerno, per la sua proprietà, e per metà a Riccardo Frezza e Tommaso Cantarella, per conto *universitatis casalis Vêteris*, l'acqua delle Traverse; la famiglia Scattaretica si impegnava a versare ogni anno due libbre di cera; i *Sindaci* del casale 12 rotoli di buoni pesci all'anno al tempo di quaresima; con l'intesa che il monastero avrebbe potuto usufruire di un quinto dell'acqua per eventuali suoi edifici da costruirsi nel casale. È da ritenere che l'opera fu realizzata a spese degli abitanti del casale di Vietri, ancorché parte della storiografia ne attribuisce il merito agli abati dell'epoca, riconoscendo loro una prodigalità fuori dal reale contesto dei rapporti tra la Badia ed i suoi censuari.

Il censo per l'approvvigionamento idrico era fondato su una delle prerogative di carattere feudale della Badia, e cioè il possesso delle acque pubbliche, che si faceva risalire alla concessione della principessa Gemma, madre di Gisulfo II nel 1070. Questo diritto passò alla Mensa vescovile di Cava, che lo esercitò fino all'abolizione dei feudi (decennio francese). Sia gli imprenditori che usavano le acque del Bonea per le necessità dei loro opifici, che la comunità per altre esigenze di uso civile, versavano alla Mensa un censo annuo.

L'opera permise "la derivazione di una limpida polla di acqua potabile, che mediante un ponte canale di venti archi la conduce dalle falde del monte Traverse a quelle di S. Liberatore, e scorrendo in parecchie fontane costituisce il pregio più attraente della città" (F. Taiani, 1895).

Il ponte era formato da 28 piedistalli che sorreggevano 29 archi grandi nella parte inferiore e 12 minori nell'ordine superiore, e fu detto "dei diavoli", analogamente agli acquedotti medievali di Salerno, che la leggenda attribuiva all'alchimista salernitano Pietro Boleario. La struttura, composta secondo il Racioppi da "scheletrici archi ogivali di colore tristo inferrigno", riprodotta in stampe d'epoca e censita nel volumetto *L'arte a Salerno e nella sua provincia*, edito negli anni '50 dall'Ente Provinciale per il Turismo di Salerno, è considerata "la più importante opera architettonica realizzata nel territorio merulliano nel corso del XIV secolo" (Gravagnuolo, 1994). Le arcate "coprivano una luce di 180 metri con un'altezza massima di 19 metri e mezzo. Gli archi sostenevano un piccolo tubo di argilla di 12 centimetri di diametro interno che serviva a condurre l'acqua verso Vietri. Al di sopra del tubo vi era un massetto ricoperto di mattoni con sottili pilastri sostenenti ringhiere di accompagnamento e che all'occorrenza, funzionava da viadotto per apportare delle riparazioni. Nel punto di avvio degli archi vi era una presa con uno scaricatore di troppo pieno, ovvero un sistema per smaltire eventuali eccessi di acqua e farli defluire nel letto del Bonea. Quest'opera di notevole perizia tecnica, tanto che secondo Armando Schiavo si poteva considerare tra le pochissime in cui era stato applicato il sifone rovescio di invenzione romana, poté essere realizzata a Molina sia per la presenza nei pressi della Badia dei resti dell'acquedotto romano...che per il patrimonio di conoscenze accumulate a Salerno dopo la costruzione degli acquedotti di via Arce" (P. Gravagnuolo, 1994).

La cappella incastrata tra i piloni del ponte, dedicata a S. Maria delle Grazie, più comunemente detta di S. Maria dell'Arce o degli archi, doveva essere stata costruita a seguito dell'abbattimento - in occasione della realizzazione nella seconda metà del Cinquecento della *strada regia* - della cappella di S. Maria del Piano della famiglia Cantarella. Nel 1656 la struttura versava in precarie condizioni: due pittori suggerivano di coprirla, considerato il sito e la fabbrica "e le pitture, con la icona indornata sopra legno attaccato al muro di detta Cappella, quale muro sta appiccicato in parte con il pilastro del luoco

dell'arci, quale pittura per esserne fatta di fresco si va consumando per l'umidità della fabbrica nova, e per l'acqua" piovana o che cade dall'acquedotto; il casale di Vietri nel 1669, in occasione del suo ampliamento, autorizzò, l'appoggio al ponte della nuova fabbrica. (A. Tesaurò)

#### Bibliografia essenziale

Archivio Storico Comune di Vietri sul Mare, 1899.

AS SA, Prefettura 1899.

Carraturo A., (fine XVIII sec.) *Ricerche storico-topografiche della città e territorio della Cava* (manoscritto pubblicato a stampa nel 1976, trascrizione a cura di A. Santoli), Cava, Di Mauro.

Casciello E., Cesarano M., Esposito E., Esposito G., Pappone G., Piacquadio G., Porfido S., Violante C., (2004) *Dissesti idrogeologici nel bacino del Bonea, Costiera Amalfitana (Salerno)*. Atti Accademia Nazionale dei Lincei, XXI Giornata dell'Ambiente: Aree costiere in Italia, 1-11.

Esposito E., Porfido S., Violante C., Alaia F., (2003a) *Disaster induced by historical floods in a selected coastal area (Southern Italy)*. PHEFRA (Palaeofloods, Historical Data & Climatic variability: Application in Flood Risk Assessment), Proc., Edited by: V.R. Thorndycraft, G. Benito, M. Barriendos & M.C. Llasat, 143-148.

Esposito E., Porfido S., Violante C., (2003b) *Reconstruction and recurrence of flood-induced geological effects: the Vietri sul Mare case history (Amalfi coast, Southern Italy)*. AGI, Fast slope movements prediction and prevention for risk mitigation, 1, 169-172.

Gravagnuolo P., (1994) *Civiltà di un borgo. Storia e sviluppo urbano di Cava de' Tirreni*, Napoli.

Miranda A., (1971) *Molina di Vietri sul Mare dalle origini ai giorni nostri*. Jannone Ed., Salerno.

Racioppi G., (1877) *La Badia della Cava. Saggio storico del Signor Paul Guillaume*, in "Archivio storico per le Province Napoletane", II.

Taiani F., (1895) *L'antica Marcina e Vietri sul Mare, cenni storico-critici*, Salerno.

### Sezione 3: Descrizione fisico – tipologica

3.1 Tipologia

3.2 Destinazione d'uso *Acquedotto*

3.3 Materiale costruttivo

3.4 Stato di conservazione *Cattivo-Qualche rudere ancora visibile*

3.5 Dati dimensionali

Forma	
Numero piani	Due ordini di arcate
Dimensioni estreme	
Altezza massima	19,50 m
Altezza minima	
Dimensione maggiore	180 m di luce
Dimensione minore	
Dati planovolumetrici	
Superficie coperta	
Volume	

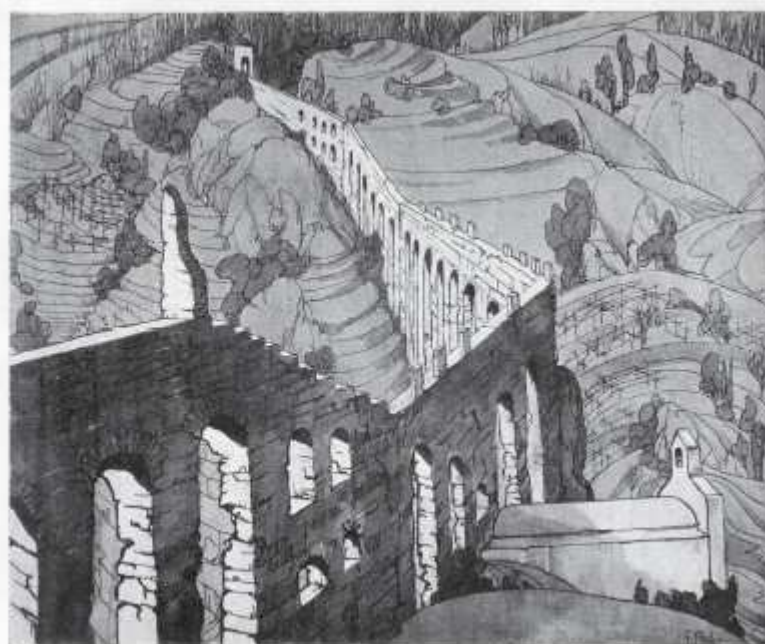
### Sezione 4: Interventi di manutenzione, ristrutturazione.

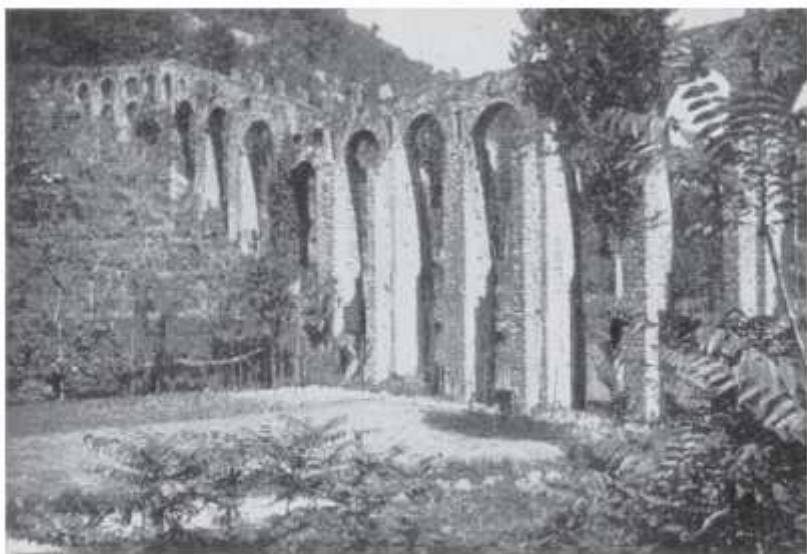
Anno	Descrizione	Documentazione	Link
Seconda metà XVI sec.	Costruzione della Cappella di S. Maria dell'Arce, tra i piloni del ponte		

*Figura 4.34* - Molina, Ponte delle Traverse con la Cappella di S. Maria dell'Arce praticamente costruita tra le arcate del ponte (disegno E. Gin, 1859, Coll. Privata).

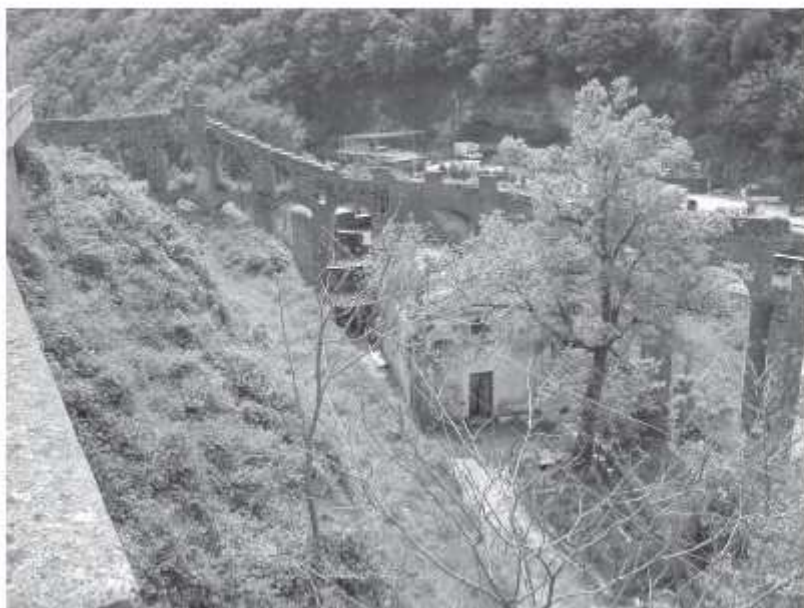


*Figura 4.35* - Molina, Ponte delle Traverse in una Stampa di G. Fava (1927) dal titolo "Visti sul Mare. Il ponte del Diavolo", (Coll. Privata).





*Figura 4.36 - Molina, Ponte delle Traverse, foto scattata prima dell'alluvione del 1954 (A. Schiavo, *L'arte a Salerno e nella sua provincia*, EPT anni '50).*



*Figura 4.37 - Molina, Ponte delle Traverse: i pochi resti del ponte-acquedotto medievale visibili ancora oggi (foto C. Violante, Napoli, 2004).*

## SCHEMA EDIFICIO - Codice bene: C

### Sezione 1: Dati Identificativi

---

#### ANAGRAFICA

- |     |                    |                        |
|-----|--------------------|------------------------|
| 1.1 | Denominazione      | <i>Fabbrica Landi</i>  |
| 1.2 | Proprietario       | <i>Landi</i>           |
| 1.3 | Provincia          | <i>Salerno</i>         |
| 1.4 | Comune             | <i>Vietri sul Mare</i> |
| 1.5 | Località/ Frazione | <i>Molina</i>          |
| 1.6 | Indirizzo          |                        |

#### LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO - AMMINISTRATIVA

---

- |      |                        |  |
|------|------------------------|--|
| 1.7  | Sistema di riferimento | <i>UTM-ED 50 FUSO 33</i>   |
| 1.8  | Easting                | <i>476501.9 m</i>  |
| 1.9  | Northing               | <i>4503581.02 m</i>  |
| 1.10 | Quota s.l.m.           | <i>74 m</i>  |
| 1.11 | Dati Catastali         |  |
| 1.12 | Morfologia del sito    | <i>fondovalle piano</i>  |
| 1.13 | Bacino Idrografico     | <i>Torrente Bonea</i>  |
| 1.14 | Sponda                 | Sinistra <input checked="" type="checkbox"/> Destra <input type="checkbox"/> |

### Sezione 2: Dati Storici

---

- |     |                     |  |
|-----|---------------------|--|
| 2.1 | Data costruzione    | <i>1836</i>  |
| 2.2 | Uso Storico         | <i>Fabbrica di bottiglie, saponi, tessuti</i>                    |
| 2.3 | Proprietari/Gestori | <i>Di Donato, Consiglio, Favilla, Lacroix, Pellegrino, Landi</i> |

## 2.4 Materiale documentale

Allegato n°	Tipo Documento	Fonte	Anno	Luogo	Qualità	Note
1 (Fig.4.38)	Foto	Parisis- EPT	1954	Molina, Vietri sul Mare	Ottima	Coll. EPT, Salerno

## 2.5 Eventi calamitosi

Data	Descrizione	Fonte	Note
9.11.1773	Allagamenti e frane a Molina	AS SA- 1773	Alluvione devastante che colpisce principalmente Cava de' Tirreni, Nocera e Salerno.
25.12.1796	Crolli tra Castagneto e Molina	AS SA-1796	Alluvione che colpisce principalmente Cava de' Tirreni.
24.01.1823	Fenomeni franosi a Molina	AS SA-1823	Alluvione che colpisce Cetara, Cava de' Tirreni, Salerno e la Valle del Sarno.
26.10.1843	Una colata detritica investe Molina	AS SA-1843	Alluvione che colpisce Maiori.
18.03.1845	Fenomeni franosi investono Molina	AS SA-1845	Alluvione che colpisce Maiori.
7.10.1899	A Molina furono distrutte completamente cinque manifatture tessili poste lungo le sponde del torrente, frane.	Archivio Storico Vietri sul Mare, 1899; AS SA,1899	Alluvione devastante che colpisce principalmente Giffoni sei casali, Castiglione dei Genovesi, Montecorvino Rovella, Curticelle, Cava de' Tirreni, Nocera e Salerno.
26.10.1954	Devastazione quasi completa della fabbrica Landi, resta in piedi solo la ciminiera.	Esposito et al., 2003,a,b; Casciello et al., 2004	Alluvione devastante che colpisce principalmente Vietri sul Mare, Salerno, Cava de' Tirreni, Maiori, Minori e Tramonti. Devastazione quasi completa di fabbricati e industrie lungo il Torrente Bonea, numerosi dissesti idrogeologici su tutto il territorio.



## NOTIZIE STORICHE

*Fabbrica di tessuti Landi.*

La fabbrica di tessuti e garzerai di lana di Paolo Landi, gravemente danneggiata dall'alluvione del 1954, e successivamente abbattuta con la restante ciminiera, era ubicata in un'area in precedenza adibita a fabbrica di bottiglie.

Nel 1836 il sac. Nicola Di Donato denunciava una nuova opera in loc. Ferriera di Molina. Il toponimo richiamava alla memoria una fonderia di proprietà della Badia di Cava ubicata nella valle del Bonea a metà del Trecento. Il nuovo edificio "per fabbricar bottiglie" era composto da "un camerone con 2 entrate e 6 finestroni per lume ingrediente con gran fornace in mezzo a sei padelle, e 2 magazzini nei laterali per servar legna, a dritta a tegole, l'altro a lamia". La proprietà nel 1843 risultava di proprietà dei possidenti vietresi Ferdinando Di Donato e Bonaventura Consiglio, e dei fabbricanti di bottiglie Cesare, Hentz e Cristiano Favilla di Livorno.

In seguito (1844) la proprietà, individuata nell'area l'Arbosto, è citata per intero di Ferdinando Di Donato. Dalle schede statistiche del 1848 si ricava che la fabbrica di bottiglie di vetro nero era diretta da Cesare Favilla; possedeva un forno a riverbero, con mattoni dell'arena di Francia (cioè le patelle); vi lavoravano 25 operai, di cui 4 del Regno delle due Sicilie, 12 esteri, e 9 fanciulli; produceva 160.000 bottiglie all'anno "di buona opinione" di cui 100.000 si vendevano nel Regno; si lamentava un ridotto lavoro ed in perdita "per circostanze commerciali". La successiva scheda (del 1857) registra una situazione migliorata: infatti l'occupazione era aumentata a 36 operai, tutti maschi (30 adulti e 6 giovinetti). La fabbrica lavorava giorno e notte, e non procurava insalubrità nè incomodo ai vicini. Nel 1880 l'opificio, composto da 11 vani terranei era di proprietà di Francesco Di Donato (un timbro a secco, di cui si conserva la matrice, lo citava quale fabbricante di bottiglie e cenere cotta). Si ha motivo di ritenere che era questa la sola fabbrica di bottiglie del Salernitano, a cui fa riferimento la statistica del 1888: la fabbrica posseduta da Giuseppe Lacroix in Vietri impiegava 40 operai, tutti adulti, che producevano a fuoco continuo 250.000 pezzi di vetro nero (con smercio per lo più) nel Salernitano, adoperando la sabbia di Trapani e sali di soda inglesi. Nel 1890 la proprietà comprende anche una casa per fabbrica di sapone. Nel 1891, per rovesci finanziari, la "casa con magazzino per vetreria" e la saponiera passano nelle proprietà dell'on. Giuseppe Pellegrino ed eredi del fratello Angelo.

Nella stessa area, all'inizio dell'Ottocento il sac. Nicola Di Donato, e poi l'erede Ferdinando, possedevano una fabbrica di cremore di tartaro. (*A. Tesauro*)

## Bibliografia essenziale

Archivio Storico Comune di Vietri sul Mare, 1899.

AS SA, Prefettura 1899.

Casciello E., Cesarano M., Esposito E., Esposito G., Pappone G., Piacquadio G., Porfido S., Violante C., (2004): *Dissesti idrogeologici nel bacino del Bonea, Costiera Amalfitana (Salerno)*. Atti Accademia Nazionale dei Lincei, XXI Giornata dell'Ambiente: Aree costiere in Italia, 1-11.

Esposito E., Porfido S., Violante C., Alaia F., (2003a). *Disaster induced by historical floods in a selected coastal area (Southern Italy)*. PHEFRA (Palaeofloods, Historical Data & Climatic variability: Application in Flood Risk Assessment), Proc., Edited by: V.R. Thorndycraft, G. Benito, M. Barriendos & M.C. Llasat, 143-148.

Esposito E., Porfido S., Violante C., (2003b). *Reconstruction and recurrence of flood-induced geological*

*effects: the Vietri sul Mare case history (Amalfi coast, Southern Italy). AGI, Fast slope movements prediction and prevention for risk mitigation, 1, 169-172.*

Fonti orali: testimonianze dirette di abitanti di Vietri sul Mare.

Ministero dell'Agricoltura, Industria e Commercio. (1888) *Annali di Statistica, statistica industriale*, fasc.XII, Roma Botta Ed.

### Sezione 3: Descrizione fisico – tipologica

3.1 Tipologia

3.2 Destinazione d'uso *Fabbrica*

3.3 Materiale costruttivo

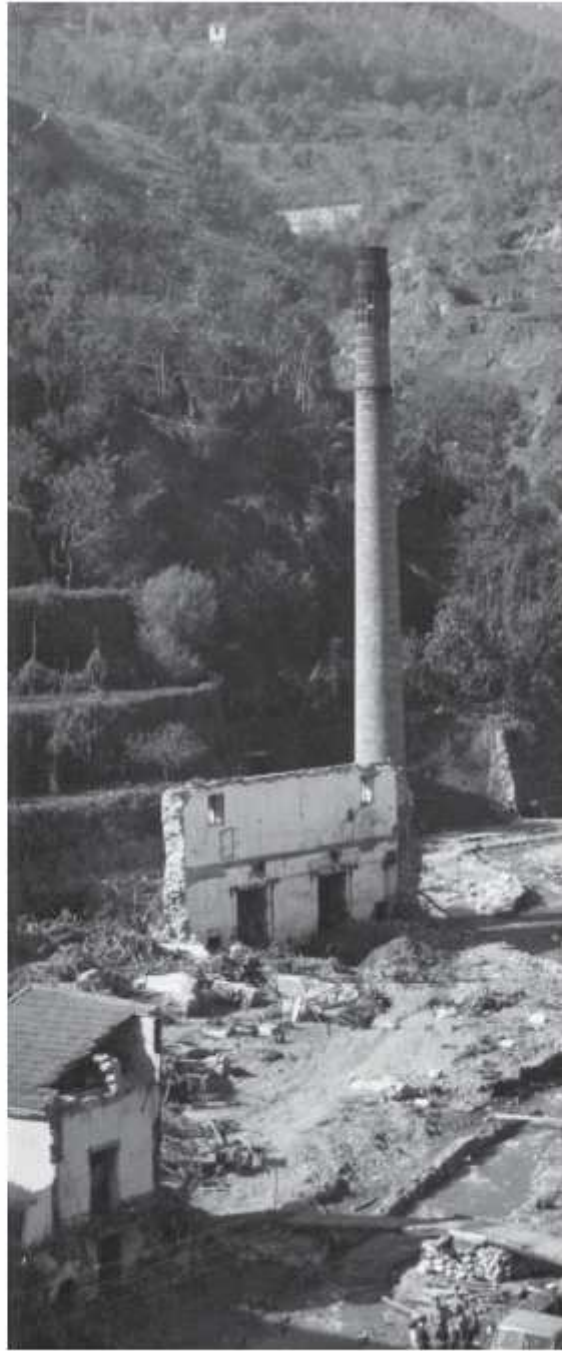
3.4 Stato di conservazione *Distrutta dall'alluvione del 1954*

3.5 Dati dimensionali

Forma	rettangolare
Numero piani	
Dimensioni estreme	
Altezza massima	
Altezza minima	
Dimensione maggiore	
Dimensione minore	
Dati planovolumetrici	
Superficie coperta	
Volume	

### Sezione 4: Interventi di manutenzione, ristrutturazione.

Anno	Descrizione	Documentazione	Link



*Figura 4.38* - Molina, la fabbrica Landi (Foto Parisio, Coll. EPT, Salerno, 1954).

SCHEMA EDIFICIO - Codice bene: D

Sezione 1: Dati Identificativi

---

ANAGRAFICA

- |                        |                           |
|------------------------|---------------------------|
| 1.1 Denominazione      | <i>Fabbrica Cavaliere</i> |
| 1.2 Proprietario       | <i>Vari</i>               |
| 1.3 Provincia          | <i>Salerno</i>            |
| 1.4 Comune             | <i>Vietri sul Mare</i>    |
| 1.5 Località/ Frazione | <i>Molina - Vietri</i>    |
| 1.6 Indirizzo          |                           |

LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO - AMMINISTRATIVA

---

- |                            |   |
|----------------------------|---|
| 1.7 Sistema di riferimento | <i>UTM-ED 50 FUSO 33</i>  |
| 1.8 Easting                | <i>476734.11 m</i>  |
| 1.9 Northing               | <i>4502968.87 m</i>   |
| 1.10 Quota s.l.m.          | <i>57 m</i>   |
| 1.11 Dati Catastali        |   |
| 1.12 Morfologia del sito   | <i>fondovalle acclive</i>   |
| 1.13 Bacino Idrografico    | <i>Torrente Bonea</i>   |
| 1.14 Sponda                | Sinistra <input checked="" type="checkbox"/> Destra <input checked="" type="checkbox"/> |

Sezione 2: Dati Storici

---

- |                         |  |
|-------------------------|--|
| 2.1 Data costruzione    | <i>XVII sec.</i>   |
| 2.2 Uso Storico         | <i>Fabbrica cartiera, ramiera</i>  |
| 2.3 Proprietari/Gestori | <i>Cantarella, De Rosa, Cantilena, De Simone, D'Amico, Cavaliere, Conforti, Pellegrino, Heinritz, Terentola Belli, Soc. 2 A, Strianese, Avallone</i> |

## 2.4 Materiale documentale

Allegato n°	Tipo Documento	Fonte	Anno	Luogo	Qualità	Note
1(Fig. 4.39)	Stampa	J.D. Harding - W.R. Smith	1837	Vietri sul Mare	Buona	Collezione Privata
2 (Fig. 4.40)	Foto	Chauffourier	1875	Vietri sul Mare	Buona	Collezione Privata
3 (Fig. 4.41)	Foto	Notari	1954	Vietri sul Mare	Ottima	Collezione M. Notari-Salerno

## 2.5 Eventi calamitosi

Data	Descrizione	Fonte	Note
9.11.1773	Allagamenti e frane a Molina	AS SA- 1773	Alluvione devastante che colpisce principalmente Cava de' Tirreni, Nocera e Salerno.
25.12.1796	Crolli tra Castagneto e Molina	AS SA-1796	Alluvione che colpisce principalmente Cava de' Tirreni.
24.01.1823	Fenomeni franosi a Molina	AS SA-1823	Alluvione che colpisce Cetara, Cava de' Tirreni, Salerno e la Valle del Sarno.
26.10.1843	Una colata detritica investe Molina	AS SA-1843	Alluvione che colpisce Maiori.
18.03.1845	Fenomeni franosi investono Molina	AS SA-1845	Alluvione che colpisce Maiori.
7.10.1899	A Molina furono distrutte completamente cinque manifatture tessili poste lungo le sponde del torrente, frane.	Archivio Storico Vietri sul Mare, 1899; AS SA ,1899	Alluvione devastante che colpisce principalmente Giffoni sei casali, Castiglione dei Genovesi, Montecorvino Rovella, Curticelle, Cava de' Tirreni, Nocera e Salerno.
26.10.1954	Danneggiata dall'alluvione del 1954.	Esposito et al., 2003, a,b; Casciello et al., 2004	Alluvione devastante che colpisce principalmente Vietri sul Mare, Salerno, Cava de' Tirreni, Maiori, Minori e Tramonti. Devastazione quasi completa di fabbricati e industrie lungo il Torrente Bonea, numerosi dissesti idrogeologici su tutto il territorio.

## NOTIZIE STORICHE

*Fabbrica Cavaliere*

L'attuale plesso edilizio a destinazione industriale a destra del fiume Bonea ed a nord del ponte della statale amalfitana (via Travertino) - entro il quale era ubicata la fabbrica di tessuti Cavaliere danneggiata dall'alluvione del 1954 - nella sua consistenza moderna e contemporanea ha origine agli inizi del Seicento; nel 1632 Muzio De Rosa di Cava ottiene dal vescovo - titolare del diritto delle acque del fiume - la concessione di poter edificare in loc. Piano una cartiera ed una ferriera o ramiera.

Dopo più di un decennio la mensa vescovile accorda una nuova concessione per costruire una cartiera, a favore di Marcaurelio Cantarella, vietrese, che ne cede il diritto al chierico Pietro De Rosa, così che la stessa famiglia diventa titolare di due cartiere, che verranno individuate sia quale cartiera Piano, che cartiera Travertino, e di un edificio anche ad uso civile, detto "palazzo". I toponimi Piano e Travertino, pur essendo distinti, anche perché il primo rientrava nella giurisdizione del casale di Molina, ed il secondo in quella di Vietri, erano in realtà attaccati.

La proprietà del compendio dopo il trasferimento da Muzio De Rosa ai figli eredi, tra cui il chierico Pietro, che realizza la seconda cartiera, e da questi ai suoi rispettivi eredi (De Rosa-Galise), passa nel 1674 in altre mani, e nel 1693 agli eredi del cap. Andrea Cantilena. Anche se gli atti non sempre si presentano con sufficiente chiarezza sulle rispettive tipologie produttive e sulla denominazione dei complessi, dagli stessi emerge che la cartiera del Piano a sua volta risultava essere composta da due nuclei autonomi (la vecchia, e quella detta di mezzo). Le tre unità produttive erano in grado di confezionare carta straccia, carta bianca, carta da scrivere, carta da stampa, cartoni. Il compendio del Piano era destinato parte alla produzione di carta da scrivere e parte alla produzione di carta da straccia; quella indicata quale Travertino produceva anche carta da stampa. Alla fine del secolo XVII in ogni caso la capacità produttiva di tutto il complesso viene ben evidenziata: Piano (la vecchia per carta da scrivere, quella di mezzo per carta straccia), Travertino (per carta da scrivere).

Le due unità produttive della cartiera del Piano, come si evidenzia nel documento del 1679, erano dotate rispettivamente di 7 pile (di cui 6 di marmo e 1 spilata di legname) e di 6 pile (di legname), tutte con le rispettive piastre di ferro. Quella del Travertino in seguito si riqualificò portando la capacità produttiva a 9 pile. Il compendio usufruiva anche di una propria "acqua netta" da sopra il palazzo per la lavorazione della carta bianca e della carta da scrivere.

I Cantilena acquistarono nel 1727 anche il vicino mulino per faenza, appartenente all'eredità Gagliardi, funzionante già dalla metà del Seicento. Il cap. Lorenzo Cantilena, unico proprietario del complesso industriale, con testamento del 1736, lasciò le cartiere, unitamente alle altre sue proprietà, tra cui la ramiera ed il mulinello per faenza, quale dote per un erigendo monastero di monache dell'Immacolata Concezione. L'eredità comprendeva una cartiera grande detta il Piano e diverse stanze con lo spanditoio sopra e un altro sito di case per uso di cartiera nominato il palazzo, con un magazzino sotto quale deposito di stracci, ed un altro per servizio alla cartiera, con del terreno coltivato a piante di olivo; un'altra cartiera sottostante, nominata il Travertino, con spanditoio. La rendita annua di entrambe le cartiere a metà Settecento era di circa 800 ducati. Negli anni '70 dello stesso secolo gli amministratori prendono a prestito circa 750 ducati per lavori di manutenzione straordinaria alla cartiera Travertino. Con le leggi del decennio francese il monastero e le sue proprietà passarono al regio demanio: gli immobili industriali (cartiere, ramiera e mulinello) furono poi vendute a Gennaro De Simone di Napoli, stampatore e creditore dell'amministrazione statale. Nel 1834 viene registrato a carico della proprietà un altro mulino. Nel 1857 gli immobili, ad eccezione della ramiera già alienata, vengono acquistati da Gaetano D'Amico, possidente ed industriale di Molina, che si carica poi anche di un mulino per cereali, di un suolo per ferriera, di un altro mulino per bianco, di un

suolo per tintoria. Nel 1880, probabilmente precedute da scelte produttive precedenti, infatti già nel 1866, l'annuario statistico della Provincia di Salerno riporta per Vietri solo due cartiere rispetto alle cinque operanti in precedenza, il catasto registra diverse destinazioni; Gaetano D'Amico risulta possedere in questo luogo:

- un consistente edificio (3 livelli più soffitto) adibito a lanificio e fabbrica di pasta; nel 1883 è trasformato in cotonificio; la proprietà, degli eredi D'Amico, agli inizi del Novecento con sentenza del tribunale viene aggiudicata all'avv. Salvatore Conforti di Napoli (1914); poi passa all'on. Pietro Pellegrino di Marina; poi alla società anonima Heinritz e C. "*conceria pellami al cromo*"; poi a Gaetano Terotola, che vi attiva anche un generatore di energia elettrica, ed infine all'ing. Gino Belli;
- un altro consistente edificio (3 livelli più soffitto) adibito a cotonificio, che segue le stesse vicende proprietarie del precedente edificio;
- un mulino da grano, disastato dall'alluvione del 1899; dopo il passaggio a Pellegrino, se ne perdono le tracce;
- un macello impostato nel 1890 nei pressi del cotonificio (fino al 1915).

Fino agli anni '50 del XX secolo ha operato nel compendio il vecchio macello comunale.

Dalla statistica industriale del 1911 si rilevava in loco una fabbrica di filatura di cotone, degli eredi G. D'Amico con 105 operai.

Negli anni '50 la parte meridionale del compendio fu acquisito ed utilizzato da Luigi Cavaliere come fabbrica di tessuti; l'opificio subì danni dall'alluvione del 1954, soprattutto ai telai. Già nell'alluvione del 1899 si denunciavano danni alla "*tessitoria D'Amico*".

Recentemente il fabbricato Cavaliere è stato acquistato dalla società 2A - della quale è socio l'imprenditore Augusto Strianese, Presidente della Camera di Commercio - che lo sta ristrutturando in parte, per adibirlo in una fabbrica di liquori e in parte da concedere in fitto per altre attività artigiane.

Degli altri edifici, un'area di proprietà Giordano, con omonima ceramica; un'altra, già adibita ad officina meccanica automobilistica, si prefigura un'analogia destinazione. (A. Tesauro)

#### Bibliografia essenziale

Archivio Storico Comune di Vietri sul Mare, 1899.

AS SA, Prefettura 1899.

Casciello E., Cesarano M., Esposito E., Esposito G., Pappone G., Piacquadio G., Porfido S., Violante C., (2004): *Dissesti idrogeologici nel bacino del Bornea, Costiera Amalfitana (Salerno)*. Atti Accademia Nazionale dei Lincei, XXI Giornata dell'Ambiente: Aree costiere in Italia, 1-11.

Esposito E., Porfido S., Violante C., Alaia F., (2003a). *Disaster induced by historical floods in a selected coastal area (Southern Italy)*. PHEFRA (Palaeofloods, Historical Data & Climatic variability: Application in Flood Risk Assessment), Proc., Edited by: V.R. Thorndycraft, G. Benito, M. Barriendos & M.C. Llasat, 143-148.

Esposito E., Porfido S., Violante C., (2003b). *Reconstruction and recurrence of flood-induced geological effects: the Vietri sul Mare case history (Amalfi coast, Southern Italy)*. AGI, Fast slope movements prediction and prevention for risk mitigation, 1, 169-172.

Fonti orali: testimonianze di abitanti di Vietri sul Mare.

Tesauro A., (2003) *Introduzione della lavorazione della carta in Vietri, e suo sviluppo nel XVII secolo*, in La Costa di Amalfi nel XVII secolo, Amalfi.



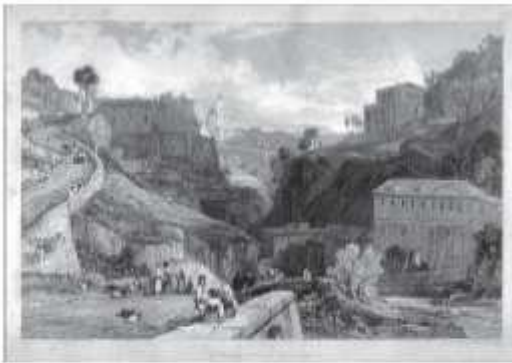
### Sezione 3: Descrizione fisico – tipologica

- 3.1 Tipologia *Diversi corpi di fabbrica*
- 3.2 Destinazione d'uso *Fabbrica*
- 3.3 Materiale costruttivo
- 3.4 Stato di conservazione *Danneggiata dall'alluvione del 1954, in ristrutturazione*
- 3.5 Dati dimensionali

Forma	rettangolare
Numero piani	3 più soffitto
Dimensioni estreme	
Altezza massima	
Altezza minima	
Dimensione maggiore	
Dimensione minore	
Dati planovolumetrici	
Superficie coperta	
Volume	

### Sezione 4: Interventi di manutenzione, ristrutturazione.

Anno	Descrizione	Documentazione	Link
1770	Lavori di manutenzione straordinaria alla cartiera Travertino		
2004	Lavori di ristrutturazione		



*Figura 4.39* - Molina, la fabbrica Cavaliere in una stampa di Harding-Smith del 1837 (Collezione Privata).



*Figura 4.40* - Molina, la fabbrica Cavaliere in una foto di Chauffourier del 1875 (Collezione Privata).



*Figura 4.41*- Molina, area della ramiera Costa e fabbrica Cavaliere dopo l'alluvione del 1954 (Collezione M. Notari, Salerno).

## SCHEDA EDIFICIO - Codice bene: E

### Sezione 1: Dati Identificativi

---

#### ANAGRAFICA

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| 1.1 Denominazione      | <i>Ramiera Costa</i>   |
| 1.2 Proprietario       | <i>De Rosa</i>         |
| 1.3 Provincia          | <i>Salerno</i>         |
| 1.4 Comune             | <i>Vietri sul Mare</i> |
| 1.5 Località/ Frazione |                        |
| 1.6 Indirizzo          |                        |

#### LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO - AMMINISTRATIVA

---

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| 1.7 Sistema di riferimento | <i>UTM-ED 50 FUSO 33</i>   |
| 1.8 Easting                | <i>476811.72 m</i>   |
| 1.9 Northing               | <i>4502805.51 m</i>  |
| 1.10 Quota s.l.m.          | <i>45 m</i>  |
| 1.11 Dati Catastali        |  |
| 1.12 Morfologia del sito   | <i>fondovalle acclive</i>  |
| 1.13 Bacino Idrografico    | <i>Torrente Bonea</i>  |
| 1.14 Sponda                | Sinistra <input type="checkbox"/> Destra <input checked="" type="checkbox"/> |

### Sezione 2: Dati Storici

---

- |                         |   |
|-------------------------|---|
| 2.1 Data costruzione    | <i>XVII sec.</i>  |
| 2.2 Uso Storico         | <i>Fabbrica ramiera, ferriera, fabbrica di ceramica</i> |
| 2.3 Proprietari/Gestori | <i>De Rosa, Cantilena, De Simone, Risi, Costa</i>       |

## 2.4 Materiale documentale

Allegato n°	Tipo Documento	Fonte	Anno	Luogo	Qualità	Note
1 Fig.4.42	Foto	Notari	1954	Vietri sul Mare	Buona	Collezione M. Notari, Salerno

## 2.5 Eventi calamitosi

Data	Descrizione	Fonte	Note
9.11.1773	Allagamenti e frane a Molina	AS SA- 1773	Alluvione devastante che colpisce principalmente Cava de' Tirreni, Nocera e Salerno.
25.12.1796	Crolli tra Castagneto e Molina	AS SA-1796	Alluvione che colpisce principalmente Cava de' Tirreni.
24.01.1823	Fenomeni franosi a Molina	AS SA-1823	Alluvione che colpisce Cetara, Cava de' Tirreni, Salerno e la Valle del Sarno.
26.10.1843	Una colata detritica investe Molina	AS SA-1843	Alluvione che colpisce Maiori.
18.03.1845	Fenomeni franosi investono Molina	AS SA-1845	Alluvione che colpisce Maiori.
7.10.1899	A Molina furono distrutte completamente cinque manifatture tessili poste lungo le sponde del torrente, frane.	Archivio Storico Vietri sul Mare, 1899; AS SA,1899	Alluvione devastante che colpisce principalmente Giffoni sei casali, Castiglione dei Genovesi, Montecorvino Rovella, Curticelle, Cava de' Tirreni, Nocera e Salerno.
26.10.1954	La ramiera Costa viene distrutta dall'alluvione	Esposito et al., 2003, a,b; Casciello et al., 2004	Alluvione devastante che colpisce principalmente Vietri sul Mare, Salerno, Cava de' Tirreni, Maiori, Minori e Tramonti. Devastazione quasi completa di fabbricati e industrie lungo il Torrente Bonea, numerosi dissesti idrogeologici su tutto il territorio.

## NOTIZIE STORICHE

*Ramiera Costa*

La ramiera Costa, ubicata sulla riva destra del fiume Bonea, sottostante ed a nord dell'attuale ponte della strada statale amalfitana (via Travertino), era sorto nei primi decenni del Seicento, ad iniziativa di Muzio De Rosa, che ottenne nel 1632 dalla mensa vescovile la concessione dell'uso dell'acqua per la costruzione in loc. Piano di questo opificio e di una cartiera. In seguito la zona più bassa del Piano, ove era allocata la ramiera, acquistò il toponimo di Travertino.

La ramiera dei De Rosa, attiva già nel 1636, fu venduta in seguito alla famiglia Cantilena, i cui eredi l'affittarono nel 1694 al maestro Aniello Della Guardia di Striano (nei pressi di Sarno); l'attività si dovette dimostrare abbastanza redditizia se la famiglia riuscì ad inserirsi nell'ambiente acquisendo un consistente patrimonio immobiliare e realizzando una propria ramiera ed un più ampio edificio di cartiera (vds Fabbrica Mattioli). Il fitto dell'opificio, consistente in più stanze con tutti i necessari attrezzi, si rinnovò nel 1708, ed era prevista la realizzazione di un nuovo canale per la ruota, alzando il corso dell'acqua.

Il cap. Lorenzo Cantilena, con testamento del 1736, destinò i suoi beni, compresa la ramiera, quale dote per l'erezione di un Monastero di donne monache sotto il titolo dell'Immacolata Concezione. Gli amministratori dell'eredità la concessero in fitto per un breve periodo a Lorenzo Bonito, patri-zio amalfitano, ed a Gregorio Mascetti, conte di S. Claudio di Ravenna, che vi esercitarono anche l'attività di fusione dell'acciaio.

Il seguito la gestione venne affidata ad imprenditori della Valle dell'Irno o di Napoli; nel fitto veniva spesso compreso anche l'utilizzo di un mulinello per macinare faenza nei suoi pressi.

Un problema di buon vicinato si evidenziava nel Settecento e riguardava lavori fatti alla parata sotto la ramiera: la deviazione dell'acqua del fiume avrebbe apportato pregiudizio alla sottostante cartiera degli eredi De Simone.

Agli inizi dell'Ottocento l'attività dovette sospendersi per gli eventi legati all'arrivo delle truppe francesi e per mancanza di rame. A seguito delle leggi emanate nel decennio francese, la proprietà della ramiera, risultante inattiva, passò al Sig. Gennaro De Simone di Napoli, che provvide ad adattarla in ferriera; le trasformazioni della canalizzazione delle acque provocarono il risentimento del comune e degli altri imprenditori della valle. Infatti in precedenza le acque che animavano la ramiera avevano un corso regolare, invece con la conversione a ferriera e con la necessità di maggiore energia idrica fu formato un laghetto, il cui riempimento comportava una ricorrente pausa del flusso idrico ai sottostanti opifici. Nel 1848 l'edificio risultava di nuovo convertito in ramiera: l'opificio, di proprietà di Enrichetta De Simone, moglie di Domeniacantonio Galdieri, teneva dei mantici a vento costruiti nel Regno; vi lavoravano 8 adulti e 2 fanciulli, per un salario rispettivo di ducati 2,40 e 0,10; la produzione era valutata in 60.000 libbre di buona qualità con "spaccio avendizia"; a seguito della nuova normativa doganale veniva denunciata una minore attività ed una riduzione della maestranza rispetto agli anni precedenti. Nel 1866, la fonderia - condotta da Francesco Milone - aveva un valore complessivo di L. 23.375, di cui 12.750 del fabbricato, 6.375 delle macchine e 4.250 del motore; le macchine operatrici erano costituite da un battente, da un fuso e da un motore idraulico.

Alla fine del XIX sec. la ramiera Travertino risultava di proprietà di Giulio Risi di Fisciano. Era animata da due mantici idraulici per complessivi 22 cavalli; occupava 22 operai (di cui 5 garzoni) e produceva caldaie ed utensili diversi per uso domestico.

L'attività di Giulio Risi si rivelò benemerita per la ripresa industriale della provincia, tanto da ricevere nel 1899 un pubblico encomio dal Consiglio della Camera di Commercio. Dal censimento degli opifici e delle imprese industriali del 1911 risultavano 41 dipendenti, compresi anche gli addetti alla succursale di via Arce in Molina.

La crisi industriale tra la fine degli anni '20 e l'inizio degli anni '30 ebbe riflessi anche sull'attività della ramiera che vide contrarsi la base occupazionale e il quantitativo produttivo. Dopo la ripresa produttiva, alla vigilia della guerra, la fabbrica, di proprietà della famiglia Costa di Napoli (dal 1938), utilizzava un edificio di 7 vani e di superficie complessiva di circa 900 mq. era dotata di un forno con capacità di Gg. 2.500 e di due magli azionati alternativamente da motore Marelli di 20 HP.

Un nuovo rallentamento produttivo si ebbe nel periodo bellico per la ridotta disponibilità di materia prima (il rame veniva ceduto alla Patria) e gli impianti venivano utilizzati anche per lavori in ferro. Nel dopoguerra l'attività fu potenziata riuscendo ad impiegare anche 100 addetti. La famiglia Costa aveva a S. Anastasia (Napoli) un impianto di produzione di fili di rame, per cui dalla ramiera vietrese i lingotti - dopo una prima trasformazione in vergelle in un impianto di Torre Annunziata - venivano trasferiti colà per trafilarli. Una gestione non sempre oculata provocò iniziali difficoltà, ma poi la fonderia di Vietri fu interamente distrutta dall'alluvione del 1954.

Negli anni '80 il sig. Antonio De Rosa, usufruendo di una norma urbanistica comunale, che consentiva in deroga agli indici di fabbricabilità, la ricostruzione di volumi distrutti dall'alluvione, vi ha realizzato una fabbrica di ceramica e laterizi. (*A. Tesauro*)

#### Bibliografia essenziale

AS SA, Prefettura 1899.

Casciello E., Cesarano M., Esposito E., Esposito G., Pappone G., Piacquadio G., Porfido S., Violante C., (2004) *Dissesti idrogeologici nel bacino del Bonea, Costiera Amalfitana (Salerno)*. Atti Accademia Nazionale dei Lincei, XXI Giornata dell'Ambiente: Aree costiere in Italia, 1-11.

Esposito E., Porfido S., Violante C., Alaia F., (2003a) *Disaster induced by historical floods in a selected coastal area (Southern Italy)*. PHEFRA (Palaeofloods, Historical Data & Climatic variability: Application in Flood Risk Assessment). Proc., Edited by: V.R. Thorndycraft, G. Benito, M. Barriendos & M.C. Llasat, 143-148.

Esposito E., Porfido S., Violante C., (2003b). *Reconstruction and recurrence of flood-induced geological effects: the Vietri sul Mare case history (Amalfi coast, Southern Italy)*. AGI, Fast slope movements prediction and prevention for risk mitigation, 1, 169-172.

Tesauro A., (2000) *Il ruolo di Vietri nella produzione del rame in principato Citra*, in rassegna del Centro di Cultura e Storia amalfitana, n. s., a. X, Amalfi.

---



---

**Sezione 3: Descrizione fisico – tipologica**


---



---

3.1 Tipologia

3.2 Destinazione d'uso *Fabbrica*

3.3 Materiale costruttivo

3.4 Stato di conservazione *Distrutta dall'alluvione del 1954*

3.5 Dati dimensionali

Forma	rettangolare
Numero piani	
Dimensioni estreme	
Altezza massima	
Altezza minima	
Dimensione maggiore	
Dimensione minore	
Dati planovolumetrici	
Superficie coperta	900 mq
Volume	

---



---

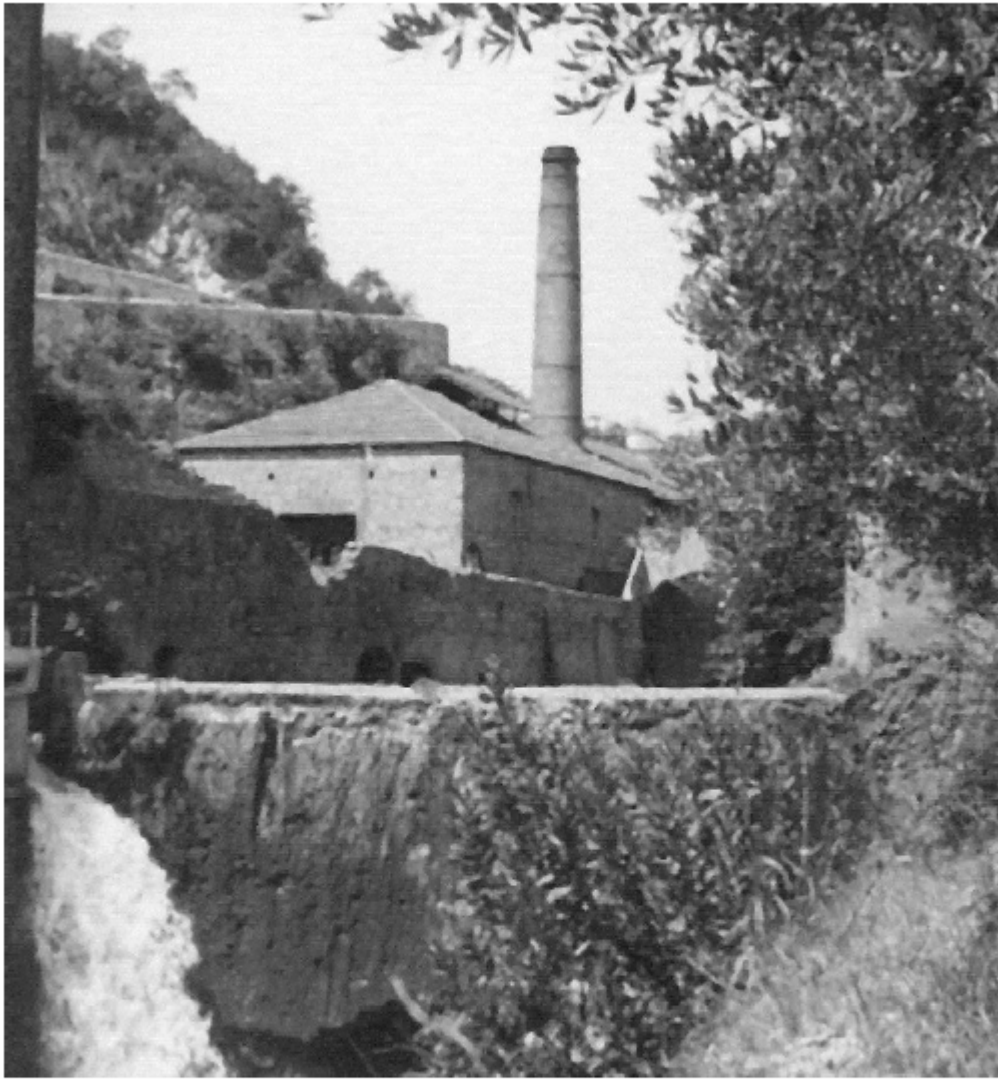
**Sezione 4: Interventi di manutenzione, ristrutturazione.**


---



---

Anno	Descrizione	Documentazione	Link
1708	Realizzazione di nuovi canali		



*Figura 4.42* - Vietri, la ramiera Costa (Collezione M. Notari, Salerno).



## SCHEMA EDIFICIO - Codice bene: F

### Sezione 1: Dati Identificativi

---

#### ANAGRAFICA

- |     |                    |                        |
|-----|--------------------|------------------------|
| 1.1 | Denominazione      | <i>Fabbrica Notari</i> |
| 1.2 | Proprietario       | <i>Notari</i>          |
| 1.3 | Provincia          | <i>Salerno</i>         |
| 1.4 | Comune             | <i>Vietri sul Mare</i> |
| 1.5 | Località/ Frazione |                        |
| 1.6 | Indirizzo          |                        |

#### LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO - AMMINISTRATIVA

---

- |      |                        |  |
|------|------------------------|--|
| 1.7  | Sistema di riferimento | <i>UTM-ED 50 FUSO 33</i>   |
| 1.8  | Easting                | <i>476860.54 m</i>   |
| 1.9  | Northing               | <i>4502696.60 m</i>  |
| 1.10 | Quota s.l.m.           | <i>40 m</i>  |
| 1.11 | Dati Catastali         |  |
| 1.12 | Morfologia del sito    | <i>Fondovalle</i>  |
| 1.13 | Bacino Idrografico     | <i>Torrente Bonea</i>  |
| 1.14 | Sponda                 | Sinistra <input type="checkbox"/> Destra <input checked="" type="checkbox"/> |

### Sezione 2: Dati Storici

---

- |     |                     |   |
|-----|---------------------|---|
| 2.1 | Data costruzione    | <i>XVI sec.</i>   |
| 2.2 | Uso Storico         | <i>Cartiera, fabbrica di tessuti</i>  |
| 2.3 | Proprietari/Gestori | <i>Cantarella, Diletto, Di Mauro, De Simone, De Gregorio<br/>Notari, Lugifram</i> |

## 2.4 Materiale documentale

Allegato n°	Tipo Documento	Fonte	Anno	Luogo	Qualità	Note
1 Fig. 4.43	foto	Notari		Vietri sul Mare	Buona	Coll. M. Notari, Salerno
2 Fig. 4.44	foto	Notari		Vietri sul Mare	Buona	Coll. M. Notari, Salerno
3 Fig. 4.45	foto	Notari	Inizi XX sec.	Vietri sul Mare	Buona	Coll. M. Notari, Salerno
4 Fig. 4.46	foto	Notari	Anni '50	Vietri sul Mare	Buona	Coll. M. Notari, Salerno
5 Fig. 4.47	foto	Notari	1954	Vietri sul Mare	Buona	Coll. M. Notari, Salerno
6 Fig. 4.48	foto	Notari	Post 1954	Vietri sul Mare	Buona	Coll. M. Notari, Salerno
7 Fig. 4.49	foto	Notari	Post 1954	Vietri sul Mare	Buona	Coll. M. Notari, Salerno
8 Fig. 4.50	foto	Notari	Post 1954	Vietri sul Mare	Buona	Coll. M. Notari, Salerno

## 2.5 Eventi calamitosi

Data	Descrizione	Fonte	Note
9.11.1773	Allagamenti e frane a Molina	AS SA- 1773	Alluvione devastante che colpisce principalmente Cava de' Tirreni, Nocera e Salerno.
25.12.1796	Crolli tra Castagneto e Molina	AS SA-1796	Alluvione che colpisce principalmente Cava de' Tirreni.
24.01.1823	Fenomeni franosi a Molina	AS SA-1823	Alluvione che colpisce Cetara, Cava de' Tirreni, Salerno e la Valle del Sarno.
26.10.1843	Una colata detritica investe Molina	AS SA-1843	Alluvione che colpisce Maiori.
18.03.1845	Fenomeni franosi investono Molina	AS SA-1845	Alluvione che colpisce Maiori.
7.10.1899	A Molina furono distrutte completamente cinque manifatture tessili poste lungo le sponde del torrente, frane.	Archivio Storico Vietri sul Mare, 1899; AS SA, 1899	Alluvione devastante che colpisce principalmente Giffoni sei casali, Castiglione dei Genovesi, Montecorvino Rovella, Curticelle, Cava de' Tirreni, Nocera e Salerno.
26.10.1954	Gravemente danneggiata	Esposito et al., 2003, a,b; Casciello et al., 2004	Alluvione devastante che colpisce principalmente Vietri sul Mare, Salerno, Cava de' Tirreni, Maiori, Minori e Tramonti. Devastazione quasi completa di fabbricati e industrie lungo il Torrente Bonea, numerosi dissesti idrogeologici su tutto il territorio.

## NOTE STORICHE

*Lanificio Notari*

Il lanificio Notari -sottostante la statale amalfitana- era costituito da un compendio che aveva inglobato locali adibiti per circa tre secoli a cartiera ed in seguito a fabbrica di tessuti. La cartiera in loc. Fontana Vecchia (vecchio toponimo), fu la prima ad essere attivata nel territorio vietrese; *"noviter facta"* nel 1578 risultava già in esercizio.

I proprietari (famiglia Vitale e Giovandomenico Cantarella) sin dall'inizio coinvolsero nella gestione imprenditori e maestranze amalfitane: Guida, D'Ancora e poi Diletto che acquisteranno un ruolo egemone nell'imprenditoria del settore. La proprietà della fabbrica agli inizi del Seicento si trasferisce ai Diletto, poi a Francesco Di Mauro ed infine alla famiglia De Simone. Agli inizi dell'Ottocento, verrà acquistata da un omonimo imprenditore di Napoli (Gennaro De Simone di Nicola).

Inizialmente la cartiera per carta straccia *"di diverse sorte"* era dotata di sei pile, di cui 5 ferrate e una sferrata, tre magli per pila, due tinelli lavorati, tre sopresse, una mola per ammolare ad acqua con sei ferri, una caldaia di rame per incollare da 100 libbre circa, e con lo spanditoio nella *"casa di coppa"*. Il compendio industriale, già dalla seconda metà del Seicento, disponeva anche di un mulinello per smalto di ceramica; nel 1787 era così descritto: *"una tina con fondo e coverchio di legname di castagno, con cerchie di faggio, e uno di ferro attorno, con sua ruota col palo di ferro e cerchietti anche di ferro, letto di pietre, e natiche di ferro che tengono la pietra alla macina"*.

Una svolta nella capacità e qualità lavorativa della cartiera si registrò nel 1680: l'opificio, di 8 pile, era in grado di produrre *"carta di qualsivoglia sorte"*; le fasi dell'incollaggio e dell'asciugatura (spanditoio) erano dislocate nel compendio immobiliare della famiglia proprietaria, ubicato al Forte, a nord-ovest dell'abitato di Vietri; situazione questa che si protrae per tutto il tempo della sua attività. L'ampliamento e le successive innovazioni introdotte dai proprietari, portando le pile a 10 e trasformandole in marmo per poter produrre carta bianca da scrivere, provocarono la reazione della mensa vescovile con una lunga causa, che si risolse con un compromesso (inizi Settecento).

Nella prima metà del Settecento sorgono problemi di buon vicinato, sia per il passaggio per la via alla cartiera che per lavori ai corsi d'acqua, tra i De Simone e Bonaventura Taiani, proprietario della nuova cartiera in loc. Nigrone. In ogni caso nel 1751 si addiuvano ad una convenzione per regolare i rapporti tra le due cartiere e la soprastante ramiera. Un altro problema fu affrontato nel 1784 a causa dei lavori alla *"parata"* della ramiera con pregiudizio per l'approvvigionamento idrico. La cartiera, alla fine del Settecento, era composta da 5 stanze con 14 pile (12 ferrate e 2 sfilate); all'inizio dell'Ottocento risultavano 7 bassi e 2 stanze.

Nel 1848, la cartiera, detta la Torretta, diretta da Donato Gargano, operava con 17 pile animate da 5 ruote azionate dalla forza dell'acqua, costruite nel regno; occupava 7 operai maschi, 4 donne e 2 fanciulli (le donne ed i fanciulli ricevevano un salario rispettivo del 40% e 20% nei confronti degli uomini); produceva 150 balle *"di buona opinione"*, di cui 40 esportate tra Napoli e la Sicilia: si lamentava una diminuzione del lavoro a causa della concorrenza della cartiera del Fibreno, che produceva *"all'infinito"* carta peraltro alterabile. Nel 1880 il fabbricato, censito quale lanificio, consisteva in 5 vani terranei e 6 al primo piano. Nel 1903 l'opificio, ormai trasformato in fabbrica di tessuti (lanificio) verrà alienata dalle eredi De Simone (figlie di Paolo) a Giuseppe De Gregorio di Napoli e Gaetano Notari fu Benedetto; quest'ultimo, imprenditore di Capriglia, aveva deciso di trasferirsi in Vietri perché vi trovava condizioni logistiche più favorevoli per l'attività industriale tessile, e nel 1914 acquista l'altra quota e la proprietà rimane alla famiglia Notari (Gaetano, i figli Alberto ed Armando). In quel periodo l'edificio si amplia in modo consistente, inglobando la preesistente struttura, e si dota di vani e spazi nel versante contrapposto della valle ad uso spanditoio. Nel 1911 G. Notari era

titolare della fabbrica di tessitura di lana, che occupava 73 operai, e di una succursale azienda (Garzerai di lana) in Molina, con 7 lavoranti. Negli anni '40 la fabbrica operava per forniture militari e poi per la fabbrica Zegna, a cui garantiva il pettinato ed il cardato. Dopo i danni dell'alluvione del 1954 cagionati all'edificio, nei livelli bassi, ed alle macchine, la struttura, con gli sforzi dei proprietari si riprese ma solo per poco, a causa della concorrenza dovuto in particolare all'uso della forza lavoro. Lo stabile e l'azienda negli anni '60 furono acquistati dalla società di confezioni tessili Lugifram di Caserta, che già in precedenza si serviva da Notari per il tessuto. L'opificio per la sua posizione non poteva non essere interessato ai fenomeni alluvionali che in misura più o meno consistente hanno interessato la valle del Bonea. I documenti danno testimonianza dell'evento del novembre 1773. Nel gennaio 1774 lavoratori cartari attestavano "che videro il danno fatto ed accagionato nella cartiera d'essi sig.ri De Simone dall'alluvione accaduto nel passato mese di novembre e nei giorni appresso fu detta cartiera posta nello stato di poter lavorare per averci fatto dai sig.ri De Simone faticare per lo spazio di giorni otto circa numero dieci persone per quella sfrattare per lo quale sfruttamento si fece con poca spesa, stante per quello facilitare si fece un buco in una lamia di stanza d'essa cartiera da dove si buttava la brecciarva ed usciva, ed andava a cadere dentro al fiume, in forza d'acqua voldata da detta cartiera" Dal testamento di Giovanbattista De Simone del 1782 si rilevava che negli anni precedenti erano stati fatti lavori alla cartiera per complessivi 1500 ducati, per carenza di attrezzature (capitania) e "per le rovine e danni cagionatevi dall'alluvioni seguita negli anni scorsi". Infine nell'alluvione del 1899 si denunciava la quasi distruzione della fabbrica di pannamenti del Sig. Gaetano Notari. (A. Tesauro)

#### Bibliografia essenziale

Archivio Storico Comune di Vietri sul Mare, 1899.

AS SA, Protocolli notarili 1774.

AS SA, Prefettura 1899.

Casciello E., Cesarano M., Esposito E., Esposito G., Pappone G., Piacquadio G., Porfido S., Violante C., (2004) *Dissesti idrogeologici nel bacino del Bonea, Costiera Amalfitana (Salerno)*. Atti Accademia Nazionale dei Lincei, XXI Giornata dell'Ambiente: Aree costiere in Italia, 1-11.

Esposito E., Porfido S., Violante C., Alaia F., (2003a) *Disaster induced by historical floods in a selected coastal area (Southern Italy)*. PHEFRA (Palaeofloods, Historical Data & Climatic variability: Application in Flood Risk Assessment), Proc., Edited by: V.R. Thorndycraft, G. Benito, M. Barriendos & M.C. Llasat, 143-148.

Esposito E., Porfido S., Violante C., (2003b) *Reconstruction and recurrence of flood-induced geological effects: the Vietri sul Mare case history (Amalfi coast, Southern Italy)*. AGI, Fast slope movements prediction and prevention for risk mitigation, 1, 169-172.

Fonti orali: testimonianze di abitanti di Vietri sul Mare.

Tesauro A., (2003) *Introduzione della lavorazione della carta in Vietri, e suo sviluppo nel XVII secolo*, in La Costa di Amalfi nel XVII secolo, Amalfi.

### Sezione 3: Descrizione fisico – tipologica

3.1 Tipologia

3.2 Destinazione d'uso *Fabbrica*

3.3 Materiale costruttivo

3.4 Stato di conservazione *Ricostruita dopo l'alluvione del 1954*

3.5 Dati dimensionali

Forma	Più corpi di fabbrica rettangolari
Numero piani	
Dimensioni estreme	
Altezza massima	
Altezza minima	
Dimensione maggiore	
Dimensione minore	
Dati planovolumetrici	
Superficie coperta	
Volume	

### Sezione 4: Interventi di manutenzione, ristrutturazione.

Anno	Descrizione	Documentazione	Link
1680	Ampliamento		
1780 ca.	Ristrutturazioni		
1914	Ristrutturazioni, ampliamenti		
Post 1954	Ristrutturazioni-ampliamento		



*Figura 4.43* - Marina, il lanificio Notari nella sua primitiva consistenza (Coll. M. Notari, Salerno).



*Figura 4.44* - Marina, lanificio Notari nella sua primitiva consistenza, particolare del ponte di collegamento tra le due sponde del Torrente Bonea (Coll. M. Notari, Salerno, 1954).



*Figura 4.45* - Marina, il lanificio Notari, foto degli inizi del '900 in cui è visibile l'ampliamento del corpo di fabbrica (Coll. M. Notari, Salerno).



*Figura 4.46* - Marina, il lanificio Notari, ampliamento del corpo di fabbrica risalente agli anni '50 (Coll. M. Notari, Salerno).



*Figura 4.47* - Marina, lanificio Notari: crollo parziale del corpo di fabbrica posto verso monte e inondazione di acqua e detriti nell'intero complesso a seguito dell'alluvione del 1954 (Coll. M. Notari, Salerno, 1954).



*Figura 4.48* - Marina, lanificio  
Notari: ricostruzione ed ampliamento del complesso di fabbrica dopo l'alluvione del 1954 (Coll. M. Notari, Salerno).



*Figura 4.49* - Marina, lanificio  
Notari: durante la fase di ricostruzione sono ancora visibili gli apporti detritici lasciati dall'alluvione lungo le pareti della fabbrica, che poggiano quasi direttamente nel Bonea. (Coll. M. Notari, Salerno).



*Figura 4.50* - Marina, lanificio  
Notari: particolare della ricostruzione del ponte sul Bonea dopo l'alluvione del 1954. (Coll. M. Notari, Salerno).



SCHEMA EDIFICIO - Codice bene: G

Sezione 1: Dati Identificativi

---

ANAGRAFICA

- |                        |                          |
|------------------------|--------------------------|
| 1.1 Denominazione      | <i>Fabbrica Mattioli</i> |
| 1.2 Proprietario       | <i>D'Ambrosio</i>        |
| 1.3 Provincia          | <i>Salerno</i>           |
| 1.4 Comune             | <i>Vietri sul Mare</i>   |
| 1.5 Località/ Frazione |                          |
| 1.6 Indirizzo          |                          |

LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO - AMMINISTRATIVA

---

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| 1.7 Sistema di riferimento | <i>UTM-ED 50 FUSO 33</i>   |
| 1.8 Easting                | <i>476965.98 m</i>   |
| 1.9 Northing               | <i>4502497.72 m</i>  |
| 1.10 Quota s.l.m.          | <i>43 m</i>  |
| 1.11 Dati Catastali        |  |
| 1.12 Morfologia del sito   | <i>Fondovalle acclive</i>  |
| 1.13 Bacino Idrografico    | <i>Torrente Bonea</i>  |
| 1.14 Sponda                | Sinistra <input checked="" type="checkbox"/> Destra <input type="checkbox"/> |

Sezione 2: Dati Storici

---

- |                         |   |
|-------------------------|---|
| 2.1 Data costruzione    | <i>XVII sec.</i>  |
| 2.2 Uso Storico         | <i>Cartiera, ramiera, pastificio, produzione elettricità, fabbrica tessile, fabbrica detersivi</i>  |
| 2.3 Proprietari/Gestori | <i>D'Ambrosio, Della Guardia, Taiani, Fusco, Amatruda, Casolaro, Remmet, Arciconfraternita Pellegrini (NA), Soc. Elettrica del Mezzogiorno, Soc. Anonima per l'Applicazione di Energia Elettrica della Campania</i> |

## 2.4 Materiale documentale

Allegato n°	Tipo Documento	Fonte	Anno	Luogo	Qualità	Note
1 Fig. 4.51	Stampa	Thuillier pins., Lhuillier sculp.	Post 1831	Salerno	Ottima	Collezione privata
2 Fig. 4.52	Foto	Brogi	1885	Vietri sul Mare	Buona	Coll. privata
3 Fig. 4.53	Foto	D'Ambrosio	1954	Vietri sul Mare	Buona	Coll. D'Ambrosio
4 Fig. 4.54	Foto	D'Arienzo Ed.	Post 1954	Vietri sul Mare	Buona	Coll. privata

## 2.5 Eventi calamitosi

Data	Descrizione	Fonte	Note
9.11.1773	Allagamenti e frane a Molina	AS SA- 1773	Alluvione devastante che colpisce principalmente Cava de' Tirreni, Nocera e Salerno.
25.12.1796	Crolli tra Castagneto e Molina	AS SA-1796	Alluvione che colpisce principalmente Cava de' Tirreni.
24.01.1823	Fenomeni franosi a Molina	AS SA-1823	Alluvione che colpisce Cetara, Cava de' Tirreni, Salerno e la Valle del Sarno.
26.10.1843	Una colata detritica investe Molina	AS SA-1843	Alluvione che colpisce Maiori.
18.03.1845	Fenomeni franosi investono Molina	AS SA-1845	Alluvione che colpisce Maiori.
7.10.1899	A Molina furono distrutte completamente cinque manifatture tessili poste lungo le sponde del torrente, frane.	Archivio Storico Vietri sul Mare, 1899; AS SA 1899	Alluvione devastante che colpisce principalmente Giffoni sei casali, Castiglione dei Genovesi, Montecorvino Rovella, Curticelle, Cava de' Tirreni, Nocera e Salerno.
26.10.1954	Crolla la struttura a ponte sul Bonea della fabbrica Mattioli	Esposito et al., 2003, a,b; Casciello et al., 2004	Alluvione devastante che colpisce principalmente Vietri sul Mare, Salerno, Cava de' Tirreni, Maiori, Minori e Tramonti. Devastazione quasi completa di fabbricati e industrie lungo il Torrente Bonea, numerosi dissesti idrogeologici su tutto il territorio.

## NOTE STORICHE

*Fabbrica Mattioli*

Le cronache sull'alluvione del 1954 danno conto del grave danno subito dalla fabbrica di tessuti Mattioli, anche se la stessa era inattiva dall'anno precedente, allorché il dr. Domenico Mattioli aveva consegnato le chiavi alla proprietà. Il compendio immobiliare sottostante la via Osvaldo Costabile, di proprietà d'Ambrosio, attualmente adibito a più funzioni (abitazione proprietari, appartamenti per vacanze "La Valle delle Najadi", attività di produzione di detersivi), fu realizzato, nella zona denominata allora l'Auso (o Scavatella o Nigrone), nella prima metà del Settecento quale fabbrica di carta con vicina ramiera, di proprietà della famiglia Della Guardia, originaria di Striano.

Della ramiera, ancorché abbia avuto avvio qualche decennio prima, vi sono testimonianze a partire dal 1743, grazie ad una puntuale descrizione nella documentazione di divisione ereditaria della proprietà di Polista Della Guardia, che comprendeva anche l'annessa cartiera, una masseria e la casa "palaziata" all'inizio della strada per Marina, caratterizzata da balconi con eleganti stucchi.

Nel 1743, la cartiera, ancorché non completa nelle rifiniture (pavimenti ed infissi), era in grado, con le sue 9 pile, di produrre "ogni sorta di carta da scrivere, straccia, ed altra" e si sviluppava in diversi locali, compreso il ponte sul Bonea, ed era stata valutata 4.500 ducati; tuttavia nel 1782 si accennava alla sola carta straccia. Il ponte sul fiume la collegava all'edificio del versante opposto (sotto l'attuale statale amalfitana), anch'esso a servizio della cartiera. Nel 1752 vi fu una convenzione per razionalizzare l'uso dell'acqua, che da un canale adiacente al Bonea, serviva ad azionare la ramiera con la sottostante cartiera. La ramiera e la cartiera a metà dello stesso secolo furono alienate a favore di Simone Tiani e del cognato Francescantonio Fusco, e seguiranno le stesse vicende proprietarie. Questa è l'unica ramiera vietrese di cui resta ancora il fabbricato, anche se non più intatto e di difficile lettura nell'ambito dell'archeologia industriale, per la vetustà e per la lunga inattività. Agli inizi dell'Ottocento (le pile erano aumentate ad 11) la proprietà (cartiera e ramiera) passa a Beniamino Amatruda, fabbricante di carta di Amalfi. Nel 1848, la cartiera, diretta da Donato Gargano, operava con 16 pile animate da 5 ruote azionate dalla forza dell'acqua, costruite nel regno; occupava 7 operai maschi, 4 donne e 2 fanciulli; produceva 150 balle "di buona opinione", di cui 40 esportate tra Napoli e la Sicilia: si lamentava una diminuzione del lavoro a causa della concorrenza della cartiera del Fibreno, che produceva "all'infinito" carta peraltro alterabile.

Dal catasto del 1880 ne risultavano proprietarie la famiglia Casolaro e sorelle Amatruda; in seguito la proprietà subisce vari subingressi, tra cui un Guglielmo Remmert, l'arciconfraternita dei Pellegrini di Napoli, la Società Elettrica del Mezzogiorno (1903); in quest'anno l'edificio principale è censito ancora quale cartiera.

Nel 1899 viene denunciata, nello stesso compendio una nuova costruzione adibita a pastificio, da parte di Alfredo Casolaro, rappresentato dall'ing. Andrea Sprecher; agli inizi del successivo secolo la proprietà passa alla Società Elettrica del Mezzogiorno, poi Società Anonima per l'Applicazione di Energia Elettrica ed infine Società Elettrica della Campania, con l'indicazione anche delle cabine elettriche dislocate nel territorio comunale. Alla fine dello stesso secolo vi fu realizzata una centrale elettrica, nella quale era interessato anche l'ing. Sprecher, al quale il Comune di Vietri contestò l'abbattimento dei piloni dell'antico ponte di legno che immetteva sulla mulattiera che risaliva il costone sotto l'attuale statale amalfitana al bivio di Raito, "unico mezzo viabile per la costiera amalfitana" prima della realizzazione della strada borbonica a metà Ottocento. Dalla fine dello XIX secolo la ramiera è stata inattiva, anche in considerazione che i vari proprietari e gestori si sono dedicati con più impegno al vicino più grande edificio industriale, destinato a usi diversi (cartiera, tessitoria, generatore elettrico). Nello stesso secolo la proprietà passa alla famiglia d'Ambrosio. Negli anni attorno

alla seconda guerra mondiale gli Stabilimenti Tessili Mattioli, lavoravano per commesse militari con continuità. Dopo la guerra la fabbrica rappresentava l'unica fornitrice locale di filato per il comparto tessile salernitano, unitamente ad un'altra fabbrica di Spoleto gestita dallo stesso Mattioli. Questi, per rovesci finanziari, dismise l'attività, costringendo gli operai all'occupazione della fabbrica. (*A. Tesauro*)

#### Bibliografia essenziale

Archivio Storico Comune di Vietri sul Mare, 1899.

AS SA, Prefettura 1899.

Casciello E., Cesarano M., Esposito E., Esposito G., Pappone G., Piacquadio G., Porfido S., Violante C., (2004) *Dissessi idrogeologici nel bacino del Bonea, Costiera Amalfitana (Salerno)*. Atti Accademia Nazionale dei Lincei, XXI Giornata dell'Ambiente: Aree costiere in Italia, 1-11.

Esposito E., Porfido S., Violante C., Alaia F., (2003a) *Disaster induced by historical floods in a selected coastal area (Southern Italy)*. PHEFRA (Palaeofloods, Historical Data & Climatic variability: Application in Flood Risk Assessment), Proc., Edited by: V.R. Thorndycraft, G. Benito, M. Barriendos & M.C. Llasat, 143-148.

Esposito E., Porfido S., Violante C., (2003b) *Reconstruction and recurrence of flood-induced geological effects: the Vietri sul Mare case history (Amalfi coast, Southern Italy)*. AGI, Fast slope movements prediction and prevention for risk mitigation, 1, 169-172.

Fonti orali: testimonianze di abitanti di Vietri sul Mare.

Tesauro A., (2003) *Introduzione della lavorazione della carta in Vietri, e suo sviluppo nel XVII secolo*, in La Costa di Amalfi nel XVII secolo, Amalfi.

### Sezione 3: Descrizione fisico – tipologica

3.1 Tipologia

3.2 Destinazione d'uso *Fabbrica di detersivi, appartamenti turistici*

3.3 Materiale costruttivo

3.4 Stato di conservazione *Ristrutturata in parte*

3.5 Dati dimensionali

Forma	Più corpi di fabbrica rettangolari
Numero piani	3
Dimensioni estreme	
Altezza massima	
Altezza minima	
Dimensione maggiore	
Dimensione minore	
Dati planovolumetrici	
Superficie coperta	
Volume	

### Sezione 4: Interventi di manutenzione, ristrutturazione.

Anno	Descrizione	Documentazione	Link
1899	Ristrutturazioni, ampliamenti		



*Figura 4.51* - Vietri, opificio industriale e sullo sfondo la vecchia strada costiera, in una stampa del 1831 "Vue du golfe de Salerne". (Thuillier pins., Lhuillier sculp., Coll. Privata).



*Figura 4.52* - Panoramica della Valle del Bonea: a destra in basso Marina ed in alto Raito, in primo piano l'opificio d'Ambrosio-Mattioli, 1885 (Foto Brogi, Coll. Privata).



*Figura 4.53* - Opificio industriale d'Ambrosio: danni prodotti dall'alluvione del 1954 alla vasca di raccolta dell'acqua per la produzione di energia elettrica mediante turbina (Coll. d'Ambrosio, Vietri sul Mare) .



*Figura 4.54* - Panoramica di Marina e Raito da piazza Matteotti, dopo l'alluvione del 1954. Dal confronto con la figura 4.44 si nota l'area non edificata della vecchia fabbrica Mattioli-d'Ambrosio (Cartolina Ed. D'Arienzo, Coll. Privata).

SCHEMA EDIFICIO - Codice bene: H

Sezione 1: Dati Identificativi

---

ANAGRAFICA

- |     |                    |                           |
|-----|--------------------|---------------------------|
| 1.1 | Denominazione      | <i>Palazzo Pellegrino</i> |
| 1.2 | Proprietario       |                           |
| 1.3 | Provincia          | <i>Salerno</i>            |
| 1.4 | Comune             | <i>Vietri sul Mare</i>    |
| 1.5 | Località/ Frazione | <i>Marina</i>             |
| 1.6 | Indirizzo          |                           |

LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO - AMMINISTRATIVA

---

- |      |                        |  |
|------|------------------------|--|
| 1.7  | Sistema di riferimento | <i>UTM-ED 50 FUSO 33</i>   |
| 1.8  | Easting                | <i>476701.11 m</i>   |
| 1.9  | Northing               | <i>4502306.22 m</i>  |
| 1.10 | Quota s.l.m.           | <i>7 m</i>   |
| 1.11 | Dati Catastali         | <i>UTE Foglio IX part. 307</i>   |
| 1.12 | Morfologia del sito    | <i>Costa</i>   |
| 1.13 | Bacino Idrografico     | <i>Torrente Bonea</i>  |
| 1.14 | Sponda                 | Sinistra <input type="checkbox"/> Destra <input checked="" type="checkbox"/> |

Sezione 2: Dati Storici

---

- |     |                     |                              |
|-----|---------------------|------------------------------|
| 2.1 | Data costruzione    | <i>XIX sec.</i>              |
| 2.2 | Uso Storico         | <i>Civile abitazione</i>     |
| 2.3 | Proprietari/Gestori | <i>Consiglio, Pellegrino</i> |



## 2.4 Materiale documentale

Allegato n°	Tipo Documento	Fonte	Anno	Luogo	Qualità	Note
1 Fig. 4.55	Disegno	Di Nicola	Precedente al 1954	Marina di Vietri	Buona	Coll. P. Di Nicola, Vietri sul Mare.
2 Fig. 4.56	Foto	De Pasquale	2004	Marina di Vietri	Buona	Coll. De Pasquale, Vietri sul Mare.
3 Fig. 4.57	Foto	Parisiso-EPT	1954	Marina di Vietri	Ottima	Coll. EPT, Salerno

## 2.5 Eventi calamitosi

Data	Descrizione	Fonte	Note
7.10.1899	A Marina danni alla fabbrica e deposito di legnami Pellegrino e Avallone	AS SA, 1899 Archivio storico comune di Vietri, 1899	Alluvione devastante che colpisce principalmente Giffoni sei casali, Castiglione dei Genovesi, Montecorvino Rovella, Curticelle, Cava de' Tirreni, Nocera e Salerno
21.09. 1912		AS SA, 1912	Danni alle abitazioni, lungo il Bonea, a Marina
26.10.1954	Il Palazzo Pellegrino crollò parzialmente	Esposito et al, 2003a,b; Casciello et al., 2004	Alluvione devastante che colpisce principalmente Vietri sul Mare, Salerno, Cava de' Tirreni, Maiori, Minori e Tramonti. Devastazione quasi completa di fabbricati e industrie lungo il torrente Bonea, numerosi dissesti idrogeologici su tutto il territorio.
17.11.1985	Danni nella zona di Marina.	Migale & Milone, 1998	

## NOTIZIE STORICHE

*Palazzo Pellegrino*

Tra gli edifici civili di Marina distrutti dall'alluvione vi è il Palazzo Pellegrino, a destra del fiume, che fu tranciato in parte nel senso nord-sud. Il fabbricato individuato nell'attuale foglio catastale IX, part. 307, era censito nel vecchio catasto fabbricati (1880) alla particella 313, quale casa ubicata in via Strettola di Marina, e composta dai seguenti vani: 1 interrato, 9 al piano terra e 12 al primo piano, di proprietà di Luigi Consiglio fu Gaetano. Giuseppe Pellegrino acquistò il cespite nel 1881, e provvide al suo ampliamento; infatti dopo la sua morte (1908) e la divisione tra gli eredi (1913) il registro riportava una nuova iscrizione con una consistenza ben più ampia: un vano interrato, 12 a piano terra, 16 al primo e 14 al secondo piano, e con una rendita catastale quasi raddoppiata. In questa consistenza il palazzo è oggetto nel 1913 di divisione tra gli eredi Pellegrino. Dalle foto d'epoca si evidenziano le varie fasi costruttive: in particolare un ampliamento già definito nel 1885 ed un nuovo intervento precedente il 1915. Si può senz'altro affermare che il palazzo sia stato ricostruito ed ampliato per affermare il prestigio raggiunto dalla famiglia Pellegrino, che si pose in evidenza nella seconda metà dell'Ottocento, incidendo in modo determinante nel tessuto economico e politico salernitano. Agli inizi del XIX sec. Nicolangelo (di Francesco), esercitava l'attività di vaticale o viaticale, fornendo la legna del taglio dei boschi ai forni di ceramica e di altre attività civili ed industriali; le modeste proprietà familiari andarono ingrandendosi in modo progressivo, soprattutto in Marina, acquisendo sia fondi e palazzi per civili abitazioni che esercizi industriali (ceramiche, vetreria). Il palazzo è a due piani nobili, le cui facciate sono caratterizzate da stucchi in muratura costituite da coppia di paraste ed architrave neoclassica a coronamento della cornice barocca. I marcapiani, a cornice modanata, definiscono i due piani nobili, mentre una serie di tra forature (occhio) in stile settecentesco individuano il piano sottotetto. Mentre il primo piano nobile si differenzia per la presenza delle balconature, la mancanza di queste al piano superiore è bilanciata dal cornicione modanato. Dopo l'alluvione il fabbricato fu ricostruito nell'ala distrutta e più adiacente al letto del fiume, in parte senza i due piani nobili, e con un corpo completato a terrazzo e senza particolari emergenze architettoniche. (A. Tesauro)

## Bibliografia essenziale

- Casciello E., Cesarano M., Esposito E., Esposito G., Pappone G., Piacquadio G., Porfido S., Violante C., (2004) *Dissesti idrogeologici nel bacino del Bonea, Costiera Amalfitana (Salerno)*. Atti Accademia Nazionale dei Lincei, XXI Giornata dell'Ambiente: Aree costiere in Italia, 1-11.
- Esposito E., Porfido S., Violante C., Alaia F., (2003a) *Disaster induced by historical floods in a selected coastal area (Southern Italy)*. PHEFRA (Palaeofloods, Historical Data & Climatic variability: Application in Flood Risk Assessment). Proc., Edited by: VR. Thorndycraft, G. Benito, M. Barriendos & M.C. Llasat, 143-148.
- Esposito E., Porfido S., Violante C., (2003b) *Reconstruction and recurrence of flood-induced geological effects: the Vietri sul Mare case history (Amalfi coast, Southern Italy)*. AGI, Fast slope movements prediction and prevention for risk mitigation, 1, 169-172.
- Migale L. S. & Milone A., (1998) *Colate di fango in terreni piroclastici della Campania. Primi dati della ricerca storica*. Rassegna Storica Salernitana, XV (30), 235-260
- Tesauro A., (2000) *Il ruolo di Vietri nella produzione del rame in principato Citra*, in rassegna del Centro di Cultura e Storia amalfitana, n. s., a. X, Amalfi.

### Sezione 3: Descrizione fisico – tipologica

3.1 Tipologia

3.2 Destinazione d'uso *Civile abitazione*

3.3 Materiale costruttivo

3.4 Stato di conservazione *Buono-Ristrutturato*

3.5 Dati dimensionali

Forma	rettangolare
Numero piani	3
Dimensioni estreme	
Altezza massima	
Altezza minima	
Dimensione maggiore	
Dimensione minore	
Dati planovolumetrici	
Superficie coperta	
Volume	

### Sezione 4: Interventi di manutenzione, ristrutturazione.

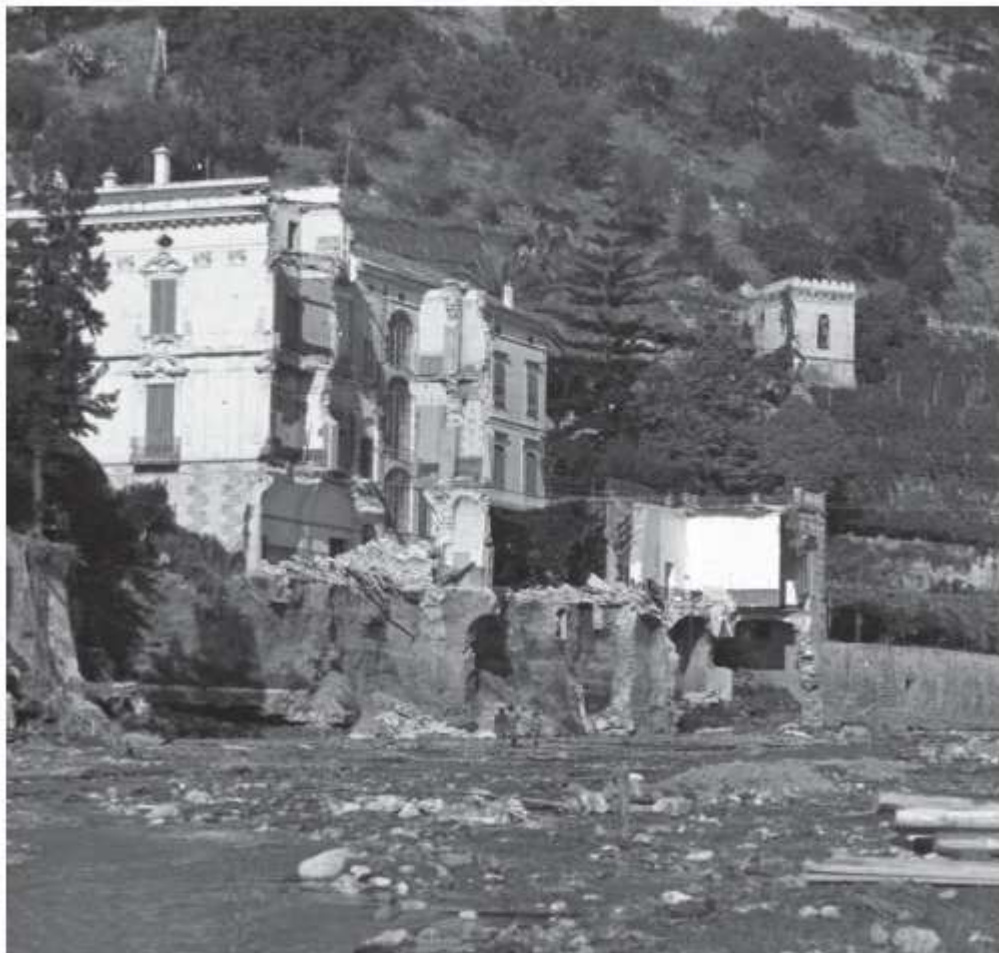
Anno	Descrizione	Documentazione	Link
1881	Ampliamenti		
1885	Ampliamento		
pre 1915	Ampliamento		
Poste 1954	Ristrutturazione/ricostruzione		



*Figura 4.55* - Marina, Palazzo Pellegrino prima dell'alluvione del 1954 in un disegno-cartolina (Coll. Privata).



*Figura 4.56* - Marina, Palazzo Pellegrino dopo la ricostruzione post-alluvione, in una foto recente (Foto A. De Pasquale, Vietri sul Mare).



*Figura 4.57* - Marina, danni all'ala orientale del Palazzo Pellegrino (Foto Parisio, Coll. EPT, Salerno, 1954).

## SCHEMA EDIFICIO - Codice bene: I

### Sezione 1: Dati Identificativi

---

#### ANAGRAFICA

- |                        |                             |
|------------------------|-----------------------------|
| 1.1 Denominazione      | <i>Palazzo Della Monica</i> |
| 1.2 Proprietario       | <i>Della Monica</i>         |
| 1.3 Provincia          | <i>Salerno</i>              |
| 1.4 Comune             | <i>Vietri sul Mare</i>      |
| 1.5 Località/ Frazione | <i>Marina</i>               |
| 1.6 Indirizzo          |                             |

#### LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICO - AMMINISTRATIVA

---

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| 1.7 Sistema di riferimento | <i>FUSO 33</i>   |
| 1.8 Easting                | <i>476666.62 m</i>   |
| 1.9 Northing               | <i>4502198.36 m</i>  |
| 1.10 Quota s.l.m.          | <i>5,3 m</i>   |
| 1.11 Dati Catastali        | <i>UTE Foglio XII part. 100-101</i>  |
| 1.12 Morfologia del sito   | <i>Costa, foce del torrente Bonea</i>  |
| 1.13 Bacino Idrografico    | <i>Torrente Bonea</i>  |
| 1.14 Sponda                | Sinistra <input type="checkbox"/> Destra <input checked="" type="checkbox"/> |

### Sezione 2: Dati Storici

---

- |                         |   |
|-------------------------|---|
| 2.1 Data costruzione    | <i>XIX sec.</i>   |
| 2.2 Uso Storico         | <i>Civile abitazione con capannone adibito a cantiere</i> |
| 2.3 Proprietari/Gestori | <i>Barbato, Consiglio, Della Monica</i>                   |

## 2.4 Materiale documentale

Allegato n°	Tipo Documento	Fonte	Anno	Luogo	Qualità	Note
1 Fig. 4.58	Foto	P. & A. Della Monica		Marina	Buona	Coll. P. A. Della Monica,, Vietri sul Mare
2 Fig. 4.59	Foto	O. Della Monica	Inizio anni '50	Marina	Buona	Coll. O. Della Monica Vietri sul Mare
3 Fig. 4.60	Foto	O. Della Monica	1954	Marina	Buona	Coll. O. Della Monica Vietri sul Mare
4 Fig. 4.61	Foto	O. Della Monica	2004	Marina	Buona	Coll. Abate Costruzioni

## 2.5 Eventi calamitosi

Data	Descrizione	Fonte	Note
7.10.1899		AS SA, 1899 Archivio storico comune di Vietri, 1899	Alluvione devastante che colpisce principalmente Giffoni sei casali, Castiglione dei Genovesi, Montecorvino Rovella, Curticelle, Cava de' Tirreni, Nocera e Salerno.
21.09. 1912		AS SA, 1912	Danni alle abitazioni, lungo il Bonea, a Marina.
26.10.1954		Esposito et al, 2003,a,b., Casciello et al., 2004	Alluvione devastante che colpisce principalmente Vietri sul Mare, Salerno, Cava de' Tirreni, Maiori, Minori e Tramonti. Devastazione quasi completa di fabbricati e industrie lungo il Torrente Bonea, numerosi dissesti idrogeologici su tutto il territorio.
17.11.1985		Migale e Milone, 1998	Danni nella zona di Marina.

## NOTIZIE STORICHE

*Palazzo e Cantiere Navale Della Monica*

Edificio civile danneggiato gravemente dall'alluvione del 1954, ubicato sul fianco orientale della torre, individuato nel catasto al foglio XII partt. 100-101. Il fabbricato crollò parzialmente nella parte occidentale.

Il palazzo era di proprietà della famiglia Della Monica, titolare dell'omonima Ditta di Marina impegnata soprattutto nel campo armatoriale e nel commercio marittimo (navigazione con velieri, ecc.), oltre ad avere interessi immobiliari ed in opifici industriali (fabbriche di stoviglie).

Nel 1880 uno dei due cespiti, registrato nel vecchio catasto con la particella 295 (nuova XII, 101) era di proprietà dei fratelli Antonio, Gennaro e Francesco Barbato fu Giovanni; consisteva in una casa con magazzino in Via Marcina, con 3 vani al piano terra, 6 al primo, un ammezzato ed una soffitta. Nel 1901 questo cespite, ad eccezione di un vano a piano terra, era di proprietà di Maria Barbato fu Giovanni, che nel 1919 l'alienò a favore della Ditta Francesco Della Monica e Flli (Francesco, Gaetano e Vincenzo fu Domenico). L'altro terraneo dello stesso cespite, di proprietà di Bonaventura Barbato e poi di Alfonso Barbato ed infine di Gennaro Barbato, fu ugualmente venduto ai Della Monica.

La seconda casa con magazzini (particella 296, nuova XII, 100), composta da un vano terraneo ed uno al primo piano, nel 1880 era di proprietà di Achille Consiglio fu Gabriele, che la vendette alla Ditta Della Monica. Nel 1910 i Della Monica lo ampliarono ottenendo 4 vani seminterrati, 2 terranei, 4 ammezzati, 9 al primo, 11 al secondo e 2 al terzo; otto di questi vani (2 terranei, 2 ammezzati, 2 al primo e 2 al secondo piano) furono costruiti sull'arenile che avevano acquistato nel 1909 dal Demanio. L'architettura dell'intero compendio, che pur essendo individuato in due particelle, costituiva un organico ed unitario fabbricato, rispecchiava il gusto liberty dell'epoca.

Nello spazio antistante la Ditta Della Monica vi realizzò tra il 1920 ed il 1921 un capannone in legno per deposito attrezzi, ed un capannone con colonne in fabbrica coperto di tegole ed embrici, per gli operai del cantiere navale. Anche il cantiere navale, che negli anni '50 si presentava con una struttura più consistente, fu spazzato via dall'alluvione del 1954. L'ultimo importante "bastimento" allestito e varato fu il San Francesco nel 1946. La ferita al fabbricato è rimasta aperta per circa un cinquantennio, e solo di recente, grazie all'opportunità fornita dal piano regolatore, la Ditta Abate Costruzione di Luigi Abate - che ha acquisito l'area - sta riportando l'edificio alla volumetria originale, con un accurato intervento architettonico. ( *A. Tesauro* )

## Bibliografia essenziale

Archivio Storico Comune di Vietri sul Mare, 1899.

AS SA, Prefettura 1899.

Casciello E., Cesarano M., Esposito E., Esposito G., Pappone G., Piacquadio G., Porfido S., Violante C., (2004) *Dissesti idrogeologici nel bacino del Bornea, Costiera Amalfitana (Salerno)*. Atti Accademia Nazionale dei Lincei, XXI Giornata dell'Ambiente: Aree costiere in Italia, 1-11.

Esposito E., Porfido S., Violante C., Alaia F., (2003a) *Disaster induced by historical floods in a selected coastal area (Southern Italy)*. PHEFRA (Palaeofloods, Historical Data & Climatic variability: Application in Flood Risk Assessment), Proc., Edited by: V.R. Thorndycraft, G. Benito, M. Barriendos & M.C. Llasat, 143-148.

Esposito E., Porfido S., Violante C., (2003b) *Reconstruction and recurrence of flood-induced geological effects: the Vietri sul Mare case history (Amalfi coast, Southern Italy)*. AGI, Fast slope movements prediction and prevention for risk mitigation, 1, 169-172.

Migale L. S. & Milone A., (1998) *Colate di fango in terreni piroclastici della Campania. Primi dati della ricerca storica*, Rassegna Storica Salernitana, XV (30):235-260.



### Sezione 3: Descrizione fisico – tipologica

3.1 Tipologia

3.2 Destinazione d'uso *Civile abitazione - Cantiere navale*

3.3 Materiale costruttivo

3.4 Stato di conservazione *In ristrutturazione*

3.5 Dati dimensionali

Forma	rettangolare
Numero piani	3
Dimensioni estreme	
Altezza massima	
Altezza minima	
Dimensione maggiore	
Dimensione minore	
Dati planovolumetrici	
Superficie coperta	
Volume	

### Sezione 4: Interventi di manutenzione, ristrutturazione.

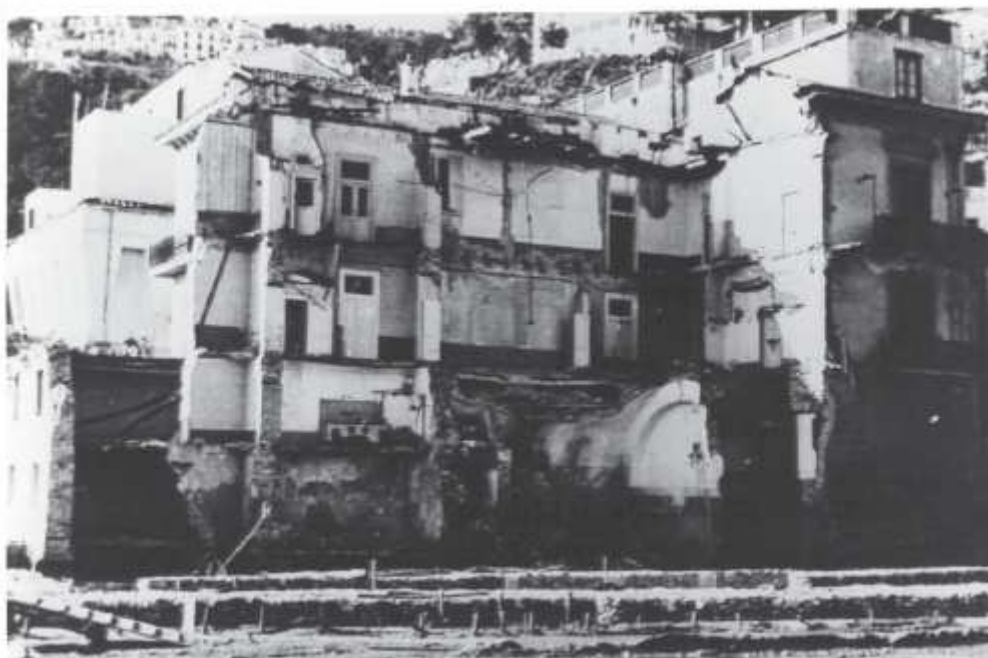
Anno	Descrizione	Documentazione	Link
1920-21	Costruzione di deposito e cantiere navale in legno		
2004	In ristrutturazione		



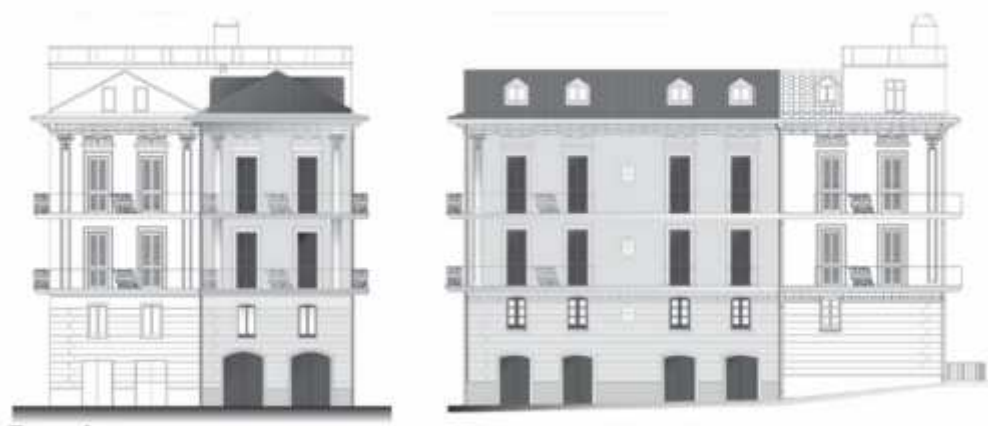
*Figura 4.58* - Marina, visione panoramica. Da sinistra verso destra è possibile osservare la torre, il palazzo della Monica e il Palazzo Savastano prima dell'alluvione del 1954 (Coll. P. de Nicola, Vietri sul Mare).



*Figura 4.59* - Marina, in primo piano palazzo Della Monica prima dell'alluvione del 1954 (Coll. O. Della Monica).



*Figura 4.60* - Marina, Palazzo della Monica semidistrutto dall'alluvione del 1954 (Coll. O. Della Monica).



*Figura 4.61* - Marina, progetto di recupero abitativo dell'ala crollata a seguito dell'alluvione del 1954 (Foto Abate, Coll. Della Monica, Vietri sul Mare, 2004).

---

**INDICE**

<b>C. APPENDICE : CASI OSSERVATI DI ONDE GENRATE DA FRANE .....</b>	<b>291</b>
C.1 ONDE GENERATE DALL'IMPATTO DI UNA FRANA SUBAEREA .....	292
C.1.1 <i>Baia di Lituya, Alaska</i> .....	292
C.1.2 <i>La go di Yanahuin, Peru</i> .....	296
C.1.3 <i>Tafford, Norvegia</i> .....	298
C.1.4 <i>Loen Lake, Norway</i> .....	301
C.1.5 <i>Lago di Uri, Svizzera</i> .....	303
C.1.6 <i>Vulcano Unzen, Giappone.</i> .....	306
C.1.7 <i>Lago di Spirit, Monte St. Helens</i> .....	308
C.2 ONDE GENERATE DA FRANE PARZIALMENTE SOMMERSE	310
C.2.1 <i>Diga del Vajont, Italia</i> .....	310
C.2.2 <i>Ritter Island, Papua New Guinea</i> .....	315
C.2.3 <i>Vulcano Krakatau, Indonesia</i> .....	316
C.3 BIBLIOGRAFIA .....	318

## **C. APPENDICE : CASI OSSERVATI DI ONDE GENRATE DA FRANE**

## C.1 ONDE GENERATE DALL'IMPATTO DI UNA FRANA SUBAEREA

### C.1.1 Baia di Lituya, Alaska

Lituya Bay è un'insenatura a forma di T che si interseca fra le pianure costali e le colline che fiancheggiano la catena Fairweather dei monti St. Elias sulla costa sud dell'Alaska, (Figura C-1 e Figura C-2). La “gamba” che corrisponde alla parte principale della baia a forma di T è lunga 12 km e si estende verso NE dall'entrata della baia. L'ampiezza della “gamba” varia da 1,2 a 3,3 km eccetto all'entrata, che è larga solo 300m. La baia riempie e sommerge lievemente una depressione incisa da un ghiacciaio vallivo di cui Lituya, North Crillon e Cascade sono ghiacciai rimanenti. I profili sottomarini mostrano una pronunciata fossa a forma di U con versanti ripidi e un fondo marcatamente piatto che scivola dolcemente verso il basso dalla “testa” della baia fino ad una profondità massima di 220 m. La profondità minima all'ingresso della baia è di 10 m.

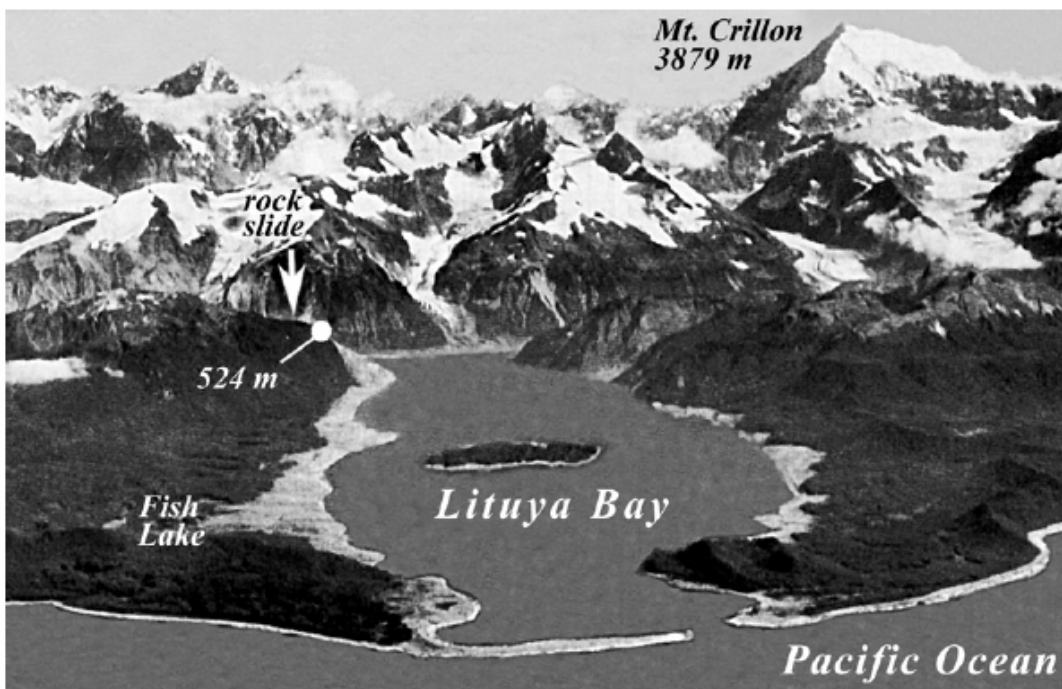


Figura C-1: Lituya Bay vista dell'Agosto del 1958 [28].

Alla “testa” della baia i versanti sono scoscesi tipo fiordo, sono stati sostenuti dai ghiacciai fino a tempi recenti. Datazioni al radiocarbonio sulle alte morene suggeriscono un ritiro dei ghiacciai solo nell'ultimo millennio [41]. I due bracci alla testa della baia fanno parte di una grande fossa che si estende per decine di km verso NW e SE come espressione topografica di una faglia maggiore, denominata faglia di Fairweather, (Figura C-2).

Onde giganti sono sopravvenute nella baia di Lituya almeno 4 o probabilmente 5 volte durante gli ultimi 2 secoli mettendo in evidenza disposizione geologica e tettonica della baia.

Il frequente verificarsi di onde giganti nella Lituya Bay, in confronto ad altre baie simili, è attribuito all'effetto combinato di frane ghiacciate recentemente e scoscese, di rocce altamente fratturate e acque profonde in una zona di frana attiva, di piogge intense, di frequenti geli e disgeli [28]. In quattro occasioni, 1853 o 1854, 1936 e 1958, sono avvenuti fenomeni di risalita di onde, ricostruiti tramite le tracce di alberi abbattuti sul versante, che hanno raggiunto altezze oltre i 100 m sui pendii della baia di Lituya [28] [11]. Nel 1958 il più grande *run up* di onda nella storia documentata (di 524 m) è stato osservato su un crinale sul versante dell'insenatura Gilbert. Solo l'evento del 1958 viene qui considerato rimangono non confermate le cause degli eventi precedenti.

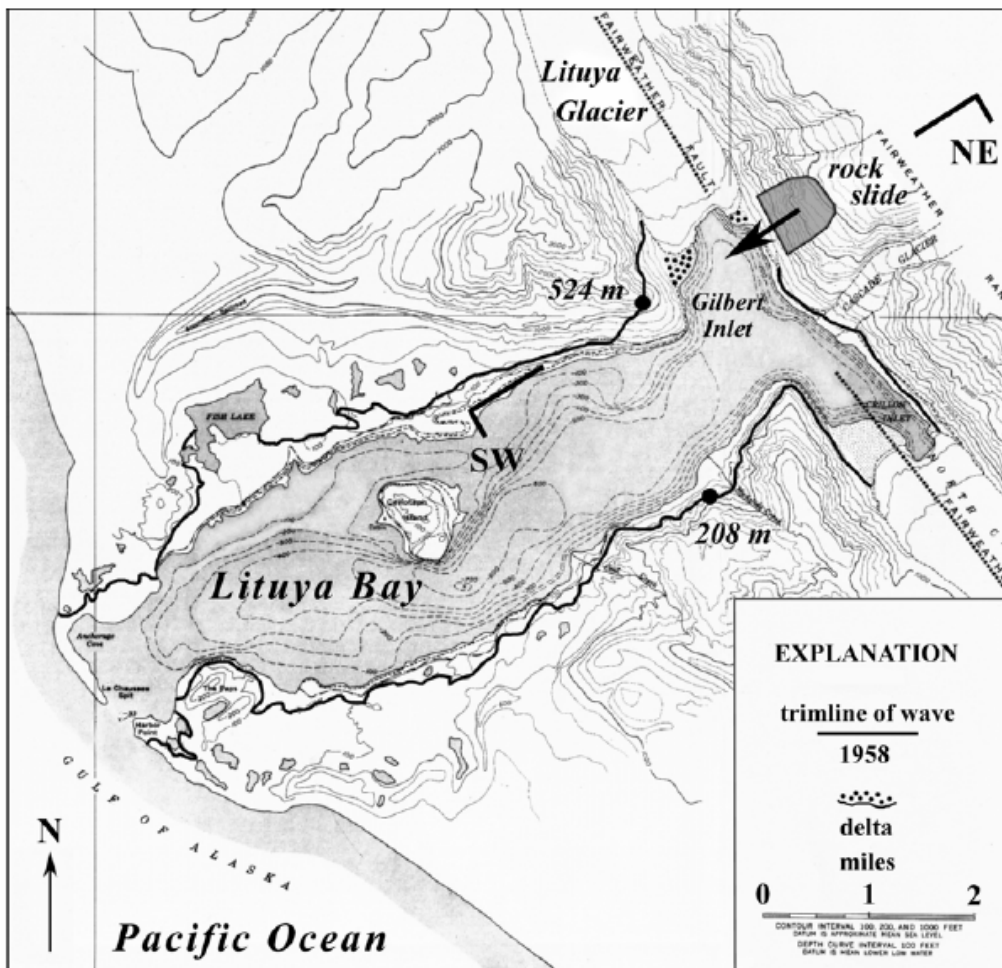


Figura C-2: Cartografia della baia di Lituya. Topografia e batimetria traccia della frana. ([28] Miller, 1960).

Con inizio alle 22:16 ora locale, il 9 luglio 1958, i lati SW e il fondo delle insenature Gilbert e Crillon si sono mosse in direzione NW e in su in relazione al litorale di NE in testa alla baia, sul

lato opposto della faglia di Fairweather. E' stato notato un movimento totale di 6,4 m in orizzontale e 1 m in verticale [43]. Un'intensa scossa nella Lituya Bay è continuata per un tempo che va da 1 a 4 minuti, il range di stima di due testimoni oculari che si trovavano ancorati nella baia.

Il sisma ha avuto una magnitudo di 8,3 della scala Richter.

Non meno di 1 minuto e non più di 2 minuti e mezzo dopo il sisma è stata avvertita per la prima volta una larga massa di roccia scivolare dal versante NE dell'insenatura Gilbert (Figura C-2, Figura C-3).

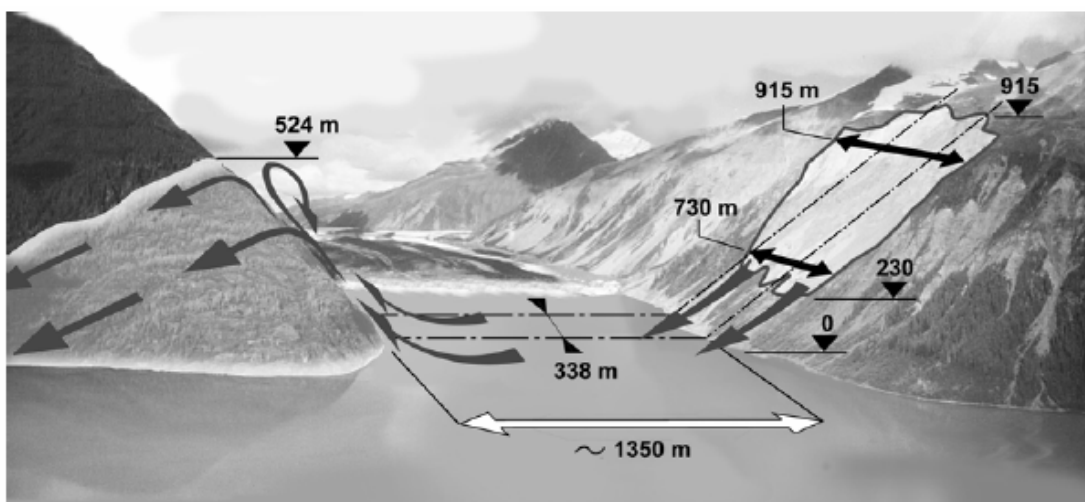


Figura C-3: Baia di Gilbert, è illustrata la dimensione e la direzione della frana (Foto Charles L. Mader).

La frana è stata innescata impulsivamente dal movimento di faglia e dalle intense vibrazioni del sisma, dando una netta localizzazione sull'asse del tempo. E' molto probabile che l'intera massa si sia immersa nell'insenatura Gilbert come una cosa unica nel momento del sisma.

Pararas-Carayannis (1999) [33] ha classificato il movimento della massa come una frana di crollo subaerea per distinguerla dai processi graduali di normali frane laddove Miller (1960) [28] l'ha giudicata essere vicino al limite tra scivolamento in roccia e frana di crollo, così come definito da Sharpe (1938) [36] e Varnes (1958) [45]. Lo scivolamento in roccia è avvenuto in un' area di frane già attive, ad un'altitudine 915 m, su una pendenza media di  $40^\circ$ . Le rocce sono principalmente scisti anfibolitici e biotitici con una densità presunta di  $2,7 \text{ t/m}^3$ . Le dimensioni dello scivolamento sul versante, così come mappato da Miller (1960) [28], sono accurate, ma lo spessore della massa dello scivolamento normale allo scivolamento stesso potrebbe essere stimato solo approssimativamente ([28] Miller, 1960). La massa principale dello scivolamento ha coinvolto presumibilmente un prisma di roccia di forma più o meno triangolare in sezione trasversale, con un'ampiezza che va da 732 m a 915 m [28], [41] una lunghezza



misurata sotto lo scivolamento di 970 m [41], uno spessore massimo, normale allo scivolamento, di circa 92m , e un centro di gravità a circa 610 m di altitudine [28]. Le dimensioni sono illustrate in Figura C-3. Miller da queste ha stimato il volume, che è  $30,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

In precedenza alla frana, bassi delta di ghiaia si sono accresciuti nell'insenatura di Gilbert ai margini SE e NW del fronte del ghiacciaio Lituya. Parte dello scivolamento deve aver colpito il ghiacciaio Lituya e i delta glaciali ghiaiosi dovuti alla situazione pre-frana della massa scivolata(Figura C-2).

Un dettaglio precedente a posteriore alla situazione dello scivolamento della insenatura Gilbert è stato indicato in Miller (1960) [28]. Il fronte del Ghiacciaio Lituya era una parete pressochè verticale, quasi normale all'asse dell'insenatura Gilbert dopo la frana, così come mostrato in Figura C-4.

Durante l'evento circa 400 m di ghiaccio del fronte del ghiacciaio è stato tranciato in parti e i delta ghiaiosi sono stati spinti via o spazzati. L'impatto della frana ha creato una gigantesca onda di gravità simile ad un'onda solitaria con un massimo run-up di onda di 524 in prolungamento rettilineo dell'asse di scivolamento su un crinale sulla costa SW dell'insenatura Gilbert (Figura C-4 Figura C-5 a)). Il run-up di 524m è 7 volte più alto della più alta onda di run-up osservata nel 1936 nel Loen Lake e and circa il doppio dell'onda di run-up nel Vajont nello Spirit Lake.

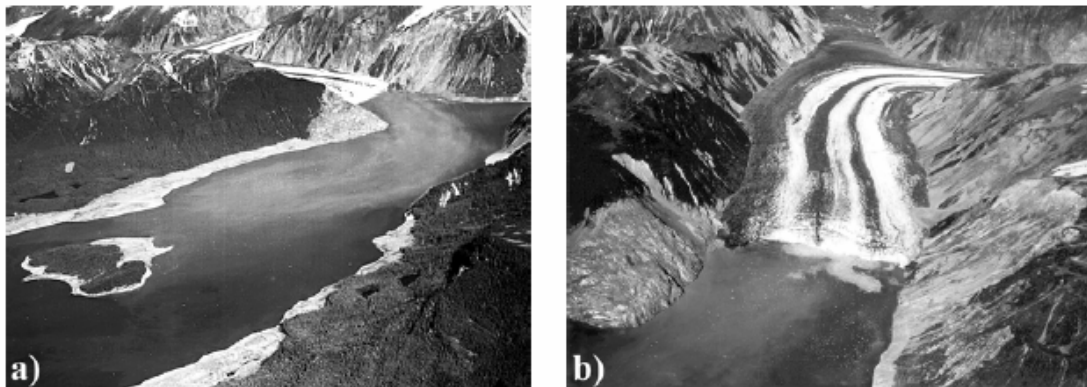


Figura C-4: percorso dell'onda: a) Vista NE b) vista NW

E' stato fatto, all'Università della California, Berkeley (R.L. Wiegel in Miller, 1960 [52]), un modello fisico semplificato in 3D della Lituya Bay a scala 1:1000 Wiegel ha concluso, dalle osservazioni del modello fisico, che una lama d'acqua ha spazzato il versante opposto allo scivolamento fino ad una elevazione di almeno tre volte la profondità dell'acqua per uno scivolamento che ha impattato l'insenatura Gilbert come un unico corpo e molto rapidamente.

Allo stesso tempo, un'onda larga, alta parecchie centinaia di piedi, si è mossa in direzione sud, causando il sopravvento di un innalzamento massimo in prossimità di Mudslide Creek.

La più alta traccia di alberi tranciati, ad un'altitudine di 208m sulla costa a sud, è mostrato Figura C-5 b)). Wiegel (1964) [51] ha stimato che le forze idrodinamiche che si sono spinte sugli alberi erano circa 10 volte maggiore delle forze necessarie a spezzare o sradicare gli alberi stessi. L'onda poi ha oscillato intorno la parte principale della Lituya Bay, a causa della rifrazione e della diffrazione. I movimenti dell'onda principale e della "coda" dentro la baia sono stati complicati dalla riflessione e dagli effetti batimetrici, ma il modello in scala apparentemente ha prodotto una buona approssimazione dell'evento di Lituya Bay. Sfortunatamente non sono disponibili dati misurati da questi esperimenti in 3D. Fritz et al. (2001) [11] ha riprodotto accuratamente il run-up di 524m in un modello fisico in 2D dell'impatto della frana nell'insenatura Gilbert incluso il runup sul crinale del promontorio.

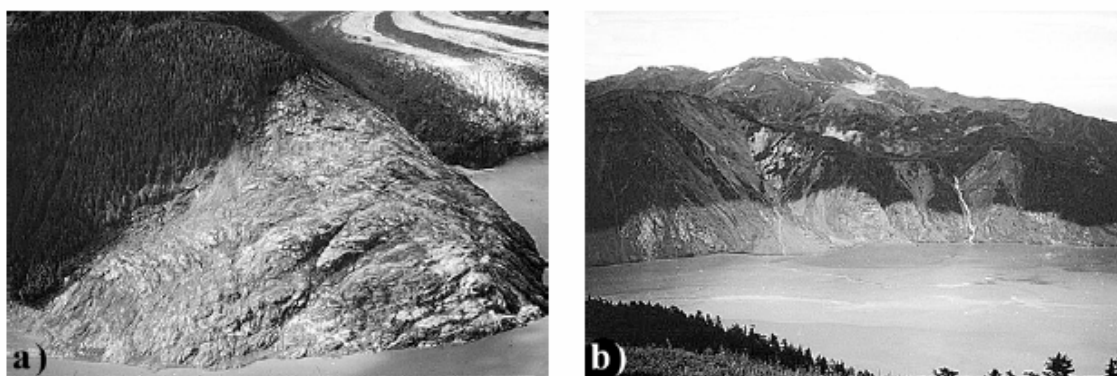


Figura C-5: a)vista nord, il versante denudato fino a 524 m; b)vista vista Sud denudamenti fino a 208m. (Photos: courtesy of USGS).

### C.1.2 La go di Yanahuin, Peru

Il lago di Yanahuin è un piccolo lago glaciale che si trova a 4400 m di altitudine nei pressi del International Divide nella Provincia di Pasco, Peru.

Il lago di Yanahuin Lake è collocato alle sorgenti del Rio Chancay che scorre per circa 120 km in direzione SW attraverso un'erta valle verso l'oceano Pacifico. Yanahuin Lake; occupa un bacino di roccia erosa da un ghiacciaio in un'area dalla topografia tipica di ghiacciaio alpino, caratterizzata da valli ampie e a forma di U separate da creste ripide.

Il lago è lungo circa 870 m e largo 360 m, copre una superficie di circa 100 000 m<sup>2</sup> e ha un volume di circa  $3.8 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>. Un campo e una miniera della Chungar Mining Company (Cia. Minería Chungar, S.A.) sono stati costruiti sulla costa nord del Yanahuin Lake in un' area di versante moderato ma irregolare. Gran parte del campo era situato in un terrazzo roccioso stretto

e ghiacciato, a 35 m sopra il livello del lago. Il lato sud del lago è caratterizzato da un ripido versante che si estende dal lago fino ad una cresta ad un'altitudine di circa 4900m. Una foto aerea del Yanahuin Lake è mostrata in Figura C-6.

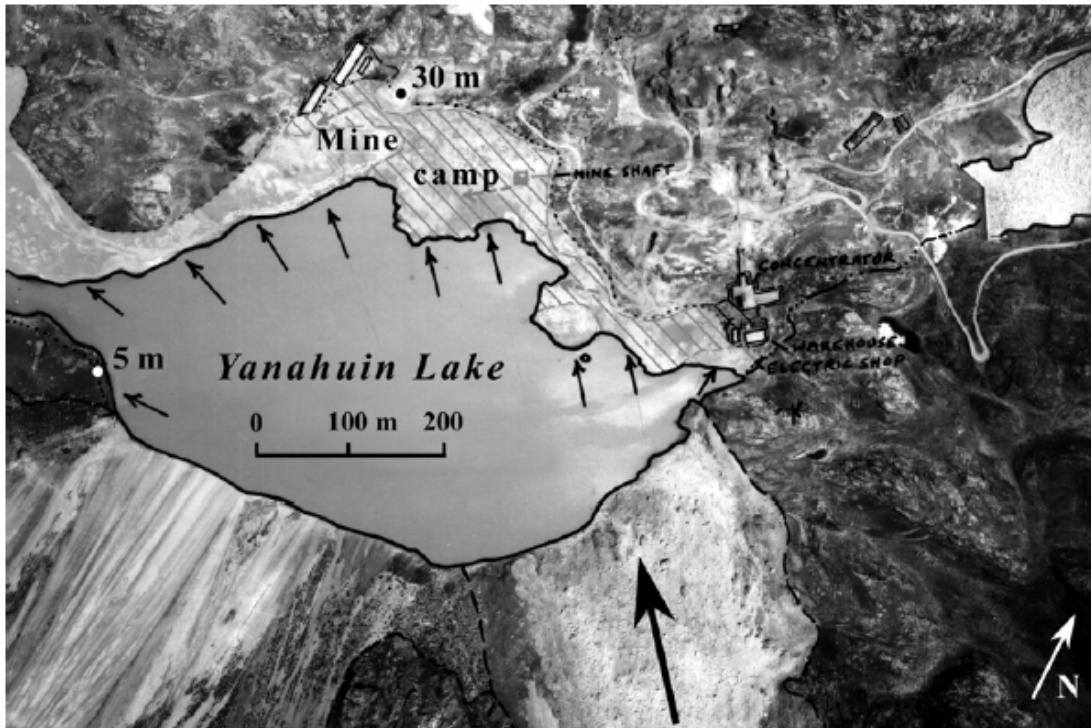


Figura C-6: foto aerea dell'area del lago di Yanahuin (Foto: Servicio Aero-Fotográfico Nacional, Lima, Peru).

Il 18 marzo 1971 una valanga rocciosa cadde da un affioramento di calcare compatto situato approssimativamente 400 m sopra la costa SE del Yanahuin Lake. L'esatta posizione della massa rocciosa rilasciata, con un volume stimato di  $100\,000\text{ m}^3$ , è mostrata in Figura C-7F a). Si presume che la densità del calcare sia stata  $2.6\text{ t/m}^3$ . La valanga di detriti ha tuonato giù per una scarpata di pendio di  $45^\circ$  di pendenza media, prima di cadere alla testa del lago, riempiendolo parzialmente. La valanga di detriti consisteva soprattutto in massi e blocchi di calcare, alcuni dei quali misuravano più di 4 m di diametro. L'acqua spostata dalla valanga di detriti, ha formato un'onda di impatto che è risalita per la riva opposta fino ad una massima elevazione di 30 m sopra il livello del lago, devastando tutto l'accampamento della miniera. La posizione della massima onda di *run-up* e le due case rimaste dell'accampamento della miniera sono mostrate in Figura C-7 b). Conseguenza dell'evento del Yanahuin Lake è stata che l'acqua dall'onda di *run-up* si è riversata dentro un pozzo della miniera uccidendo diversi minatori che stavano lavorando sottoterra. Il totale delle vittime nell'accampamento e nella miniera stessa ammontò a 600 persone.



Figura C-7: Lago Yanahuin: a) vista SW b) vista E- (Photos: courtesy of George Plafker, USGS).

La catena glaciale sovrascorsa, sulla riva sud del Yanahuin Lake, mostrò segni instabilità prima dell'evento catastrofico del 18 marzo 1971. Nel febbraio 1970 una piccola frana di crollo avvenne dalla parte inferiore di dove si è originata la valanga del 1971. Questa frana generò un'onda di impulso di circa 1,5 m di altezza, che si è diretta verso l'entroterra fino ad una distanza di 25 m lungo la riva opposta. Anche se l'onda non ha causato nessun danno, i residenti erano sufficientemente allarmati da richiedere un'indagine. Dopo l'indagine l'accampamento fu spostato su terreni più in alto, ma soltanto un anno dopo fu tragicamente confermato che l'accampamento non era stato spostato in punto sufficientemente alto.

### C.1.3 Tafjord, Norvegia

Tafjord forma il ramo più interno del Norddalsfjord, che a sua volta è un ramo del Storfjord nell'ovest della Norvegia. Tafjord è lungo circa 9 km e largo da 1 a 1.5 km (Figura C-8).

Tafjord ha un fondale piatto con variazioni di profondità tra 200 e 220 m. Le montagne circostanti raggiungono altezze di 1700 m. Il 7 aprile 1934 una larga porzione di roccia chiamata Langflåhammaren cadde dal fianco nordorientale del Tafjord sul Sunnm. re. Lo scivolamento, con un volume di  $1,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , fu rilasciato da un'altezza massima di 730 m (Bjerrum and J.rstad, 1968 [2]). Lo scivolamento era largo 230 m e consisteva in gneiss duro con una densità presunta di  $2,7 \text{ t/m}^3$  (Slingerland and Voight, 1979 [41]). Il piano di faglia nell'area della lacerazione aveva un angolo di  $65^\circ$  laddove l'angolo d'impatto vicino al fiordo era stimato intorno a  $45^\circ$  (Harbitz et al., 1992 [14] [15]). È stato attivato dallo scivolamento un deposito di detrito di falda chiamato Heggura, situato sotto Langflåhammaren. Il detrito aveva un volume di almeno  $1.5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  (Harbitz et al., 1992 [14] [15]).





Figura C-9: Tafjord: a) cicatrice della frana del 1934 (Foto: Carl B. Harbitz, NGI). b) vista SE- (Foto: Normans Kunstforlag A-S Oslo, Norway).

La vista da Sylte, circa 6 km dalla frana, verso la rupe della frana è mostrata in Figura C-9 b). La propagazione dell'onda diretta dalla zona dell'impatto è impedita da una doppia curva a S nella topografia del fiordo. Ciò nonostante l'onda si estese per 100 m verso l'entroterra. Una telefonata da Tafjord allertò la popolazione che viveva lungo Storfjord. Più di un'ora dopo furono osservate onde nelle città ad una distanza compresa fra 50 e 90 km dalla zona d'impatto [22].

Harbitz (1992) [14] [15] ha simulato l'evento di Tafjord con un modello numerico basato sulle equazioni idrodinamiche di acque basse.

Per la topografia e batimetria stabilite, le simulazioni numeriche di Harbitz (1992) [14] [15] mostrano la dipendenza (1992) delle altezze dell'onda generate sulla velocità di impatto della frana e sulla forma. Una parte che va dal 7 al 13% di energia meccanica contenuta nella frana, al momento della penetrazione nel corpo acquatico, fu convertita in energia d'onda. Le altezze di *run-up* previste erano in accordo con le altezze misurate sui versanti per i seguenti parametri: velocità di impatto della frana = 50 m/s, lunghezza della frana = 400m, ampiezza della frana = 260m e massimo spessore della frana = 75m. Risulta comunque difficoltosa una stima post-evento della velocità e della forma della frana.

L'onda primaria ha raggiunto il lato opposto del fiordo 30 s dopo l'impatto sulla frana (Figura C-10 a)) Una delle onde principali fu riflessa sulla riva di Harbitz (1992) [14] [15], in Figura C-10 b) è mostrato il risultato dell'analisi numerica che mostra il modello d'onda 2 minuti dopo l'impatto.

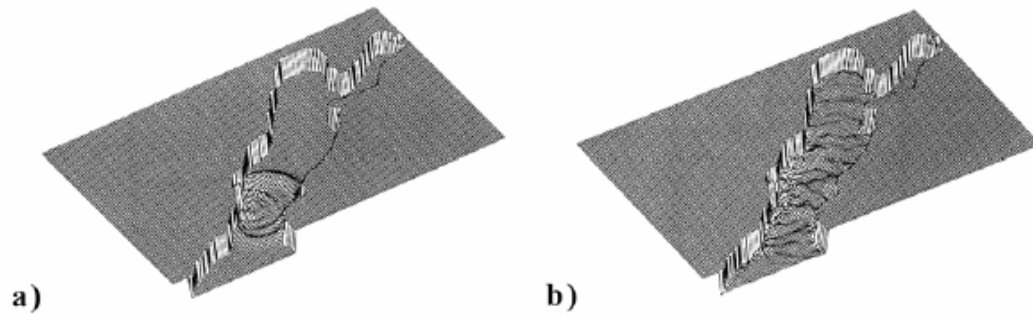


Figura C-10: Modello di Harbitz (1992) che riproduce l'evento del 1934, vista verso la testa del fiordo a)  $t = 30s$  b)  $t = 120s$  dopo l'impatto.

Harbitz ha dimostrato (1992) [14] [15] che le tre onde osservate dai testimoni a Tafjord non erano causate dalle caratteristiche della frana ma dalle riflessioni multiple e dalle interferenze.

#### C.1.4 Loen Lake, Norway

Loen Lake è situato nella parte interna di Nordfjord nell'ovest della Norvegia, proprio a sud della latitudine  $62^\circ$  nord. Loen Lake si trova 48 m sotto il livello del mare, è lungo 11 km e largo 1,5 km. La profondità massima è 132 m e il volume d'acqua è di  $0,69 \text{ km}^3$ . Nella parte SW del lago, Ravnefjell si innalza ripidamente di 2000m sopra il lago Loen. Dalla stessa posizione mostrata in Figura C-11, nel Ravnefjell sono avvenute 7 frane, nel periodo che va dal 1905 al 1950, due delle quali generarono gigantesche onde che causarono 134 vittime, circa metà della popolazione che viveva lungo le rive del lago in quel tempo.

Fu rilasciato un totale di  $3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  di massa rocciosa. La roccia era uno gneiss duro con una densità presunta di  $2.7 \text{ t/m}^3$  (Grimstad and Nesdaal, 1991[13]).

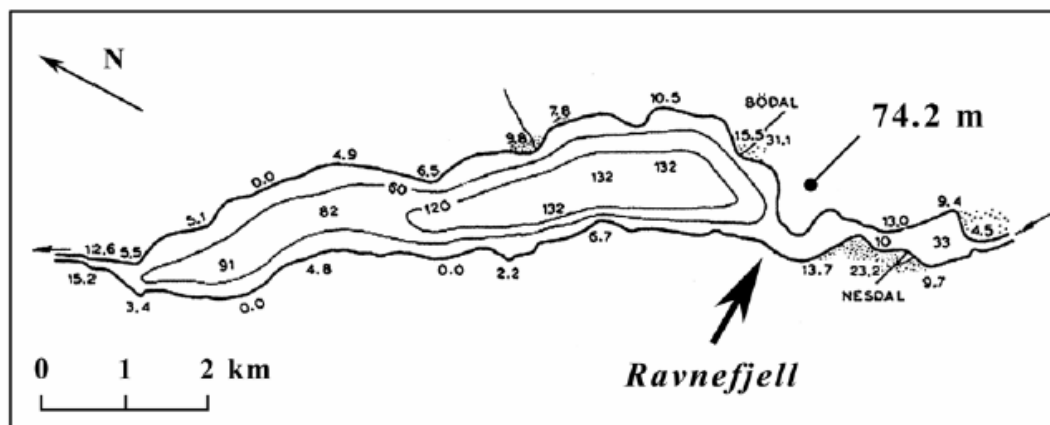


Figura C-11: lago Loen: batimetria, Ravnefjell (sito in cui è avvenuta la frana) [2].

---

Il 15 gennaio 1905 un blocco di circa 100 m di altezza, 50m di larghezza e 10m di spessore cadde da un'altezza di circa 500 m sulla parete quasi verticale. Al piede della parete la roccia, con un volume di  $50\,000\text{ m}^3$ , colpì una morena, in parte coperta da detrito, che rilasciò circa altri  $300\,000\text{ m}^3$ .

Ciò produsse una massima onda di *run-up* di 40.5m in prolungamento diretto dell'asse dello scivolamento. Lo spiegamento laterale dell'onda e le riflessioni multiple distrussero due villaggi causando 61 vittime (Bjerrum and J.rstad, 1968 [2]).

Il 13 settembre 1936 accadde un altro scivolamento dalla stessa area di frana a Ravnefjell.

Le masse di frana furono rilasciate da un'altitudine compresa fra 400 e 800 m ( Figura C-12). Il volume della frana era composto da circa  $1 \cdot 10^6\text{ m}^3$ . L'onda generata era considerevolmente più larga e più distruttiva di quella nel 1905. Nonostante il fatto che dopo la frana del 1905 le case vennero costruite in un livello più alto di prima, quasi tutto fu perso e 73 persone morirono.

Dopo la frana furono misurate le altezze di onde di risalita: la massima fu di 74,2 m osservata, di nuovo, in prolungamento diretto dell'asse dello scivolamento (Figura C-11).

Le altezze d'onda di risalita osservate diminuirono rapidamente in maniera discontinua con l'aumentare della distanza dalla frana.

All'uscita del lago, dove il bacino si stringe, l'altezza di risalita d'onda si incrementò di nuovo fino a 15 m, ad una distanza laterale di più di 8 km dalla zona di impatto, spazzando via il ponte a Vassenden [22]. Questa moltiplicazione nelle altezze d'onda, fu attribuita alla convergenza di energia d'onda dovuta allo stringersi della topografia e al diminuire della profondità d'acqua (Slingerland and Voight, 1979 [41] ).

La forte variazione nelle altezze di risalita lungo la riva, dimostra la grande importanza delle riflessioni multiple, dell'interferenza, della rifrazione, della diffrazione e degli effetti di ombreggiamento dietro i promontori.



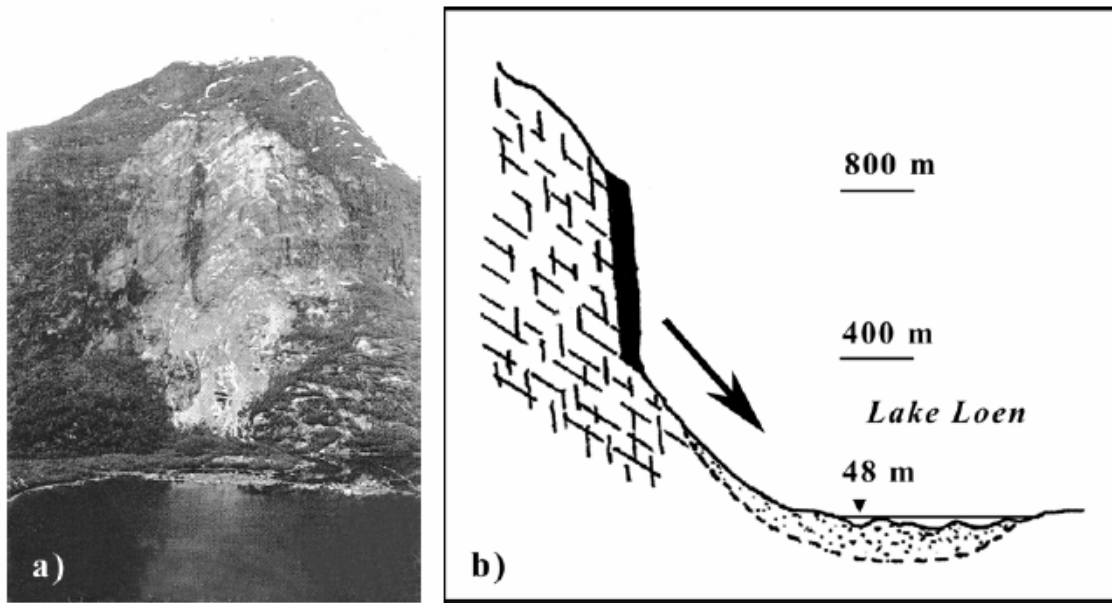


Figura C-12: lago di Ravnefjell e di Loen: a) cicatrice della frana del 1936 (Foto: NGI). b) Sezione trasversale lungo l'asse della frana (Grimstad e Nesdal, 1991 [13]).

Tra il 1936 e il 1950 seguirono tre frane nello stesso sito. Il rilascio delle masse franose fu causato da un sollevamento idraulico e una spaccatura lungo le giunture rocciose parallela al lato della montagna quasi verticale, come mostrato in Figura C-12 b) dovuta al frequente gelo e disgelo.

Durante le serie di frane l'angolo di pendio al piede della parete diminuì da  $65^\circ$  a  $40^\circ$ .

Il detrito originato dalle serie di frane, riempì progressivamente il lago, riducendo le altezze d'onda generate dalla sorgente di frana di Ravnefjell (Grimstad e Nesdal, 1991 [13]). E' estremamente difficile fare delle stime post-evento delle velocità dell'impatto della frana e delle forme. Tutte le frane di Ravnefjell hanno comportato una sfaldatura collassata di strati di roccia, che colpirono e rilasciarono un grande volume di detrito prima di urtare contro la baia irregolare e di profondità variabile (Slingerland and Voight, 1979 [41]). L'impatto sul detrito deve aver portato ad un massiccio disintegrarsi della massa rocciosa e ad una trasformazione in frana di detrito o valanga.

### C.1.5 Lago di Uri, Svizzera

Il lago Uri, un ramo del lago dei Quattro Cantoni, è situato nelle Alpi della Svizzera centrale (Figura C-13 a), è lungo 11 km, largo da 1,1 a 2,5 km e profondo circa 200 m.

Il 10 aprile 1992 circa  $16\,000\text{ m}^3$  di calcare con una densità stimata di  $2,7\text{ t/m}^3$ , saltò in aria da una parete quasi verticale chiamata Ölberg, situata sopra una strada principale Axenstrasse, sulla

riva est del lago (Müller and Schurter, 1993 [52]). Il sito della frana di crollo è mostrato nella mappa in Figura C-13 a). Una sezione trasversale, con la galleria stradale danneggiata e la roccia crollata situata tra 60 e 130 m sopra il livello del lago prima del crollo, è mostrata in Figura C-13 b). L'angolo del pendio è in media di circa  $80^\circ$  dalla parete fin al letto del lago.

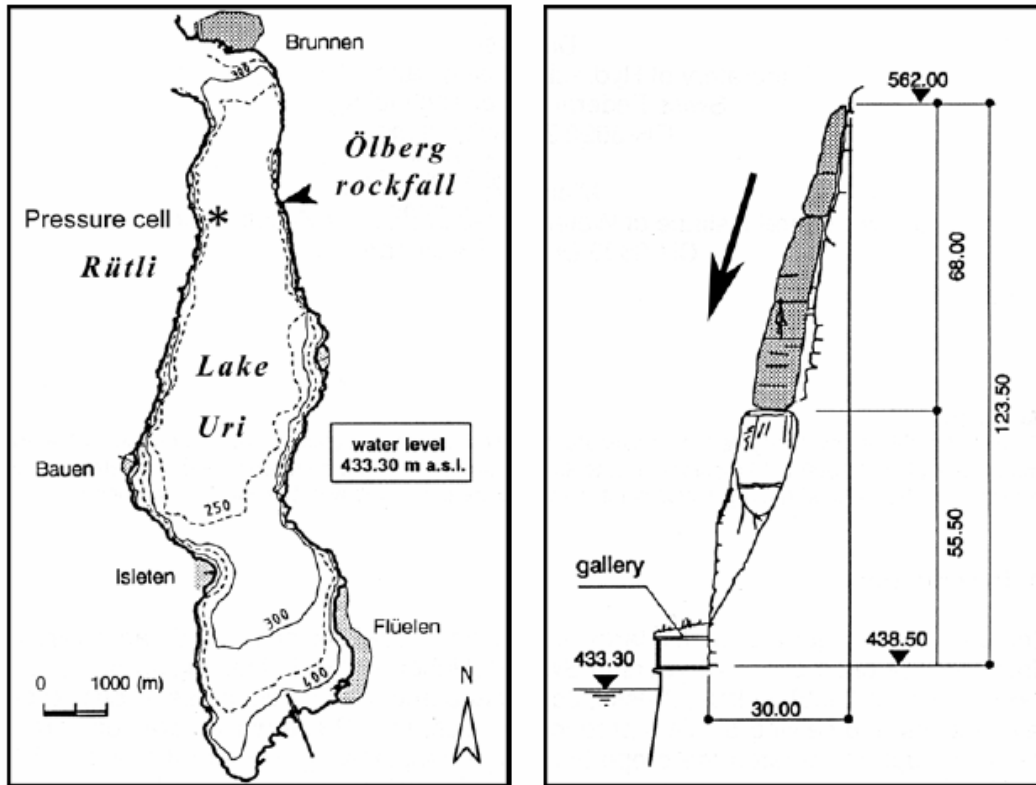


Figura C-13: a) Mappa del lago di Uri con batimetria, collocazione della frana e delle celle di pressione per la misura dell'onda. b) Sezione trasversale di Ölberg con la galleria, conformazione della roccia prima dell'esplosione (Müller e Schurter, 1993 [52]).

L'esplosione, con 4,75 t di TNT, fece saltare in aria la massa rocciosa della parete disgregandola in blocchi più piccoli di circa 1,5 m di diametro. Pressappoco 4 s dopo l'accensione il primo detrito roccioso colpì la superficie dell'acqua come mostrato in Figura C-14 a). La cascata di detrito urtò l'acqua con una velocità frontale di circa 20 m/s sopra un'area d'impatto che va da 60 a 80 m in direzione parallela alla riva e circa 60 m in direzione perpendicolare alla riva.

In un'area compresa tra i 200 m di raggio dal luogo dell'esplosione sono stati osservati piccoli detriti e polveri.

Prima dell'esplosione era stato condotto nel laboratorio VAW un test-modello idraulico in scala 1:400 al fine di prevedere le altezze d'onda risultanti in vari siti. Un paragone tra la cascata di detrito creata dall'esplosione vera e il modello di laboratorio è in Figura C-14.

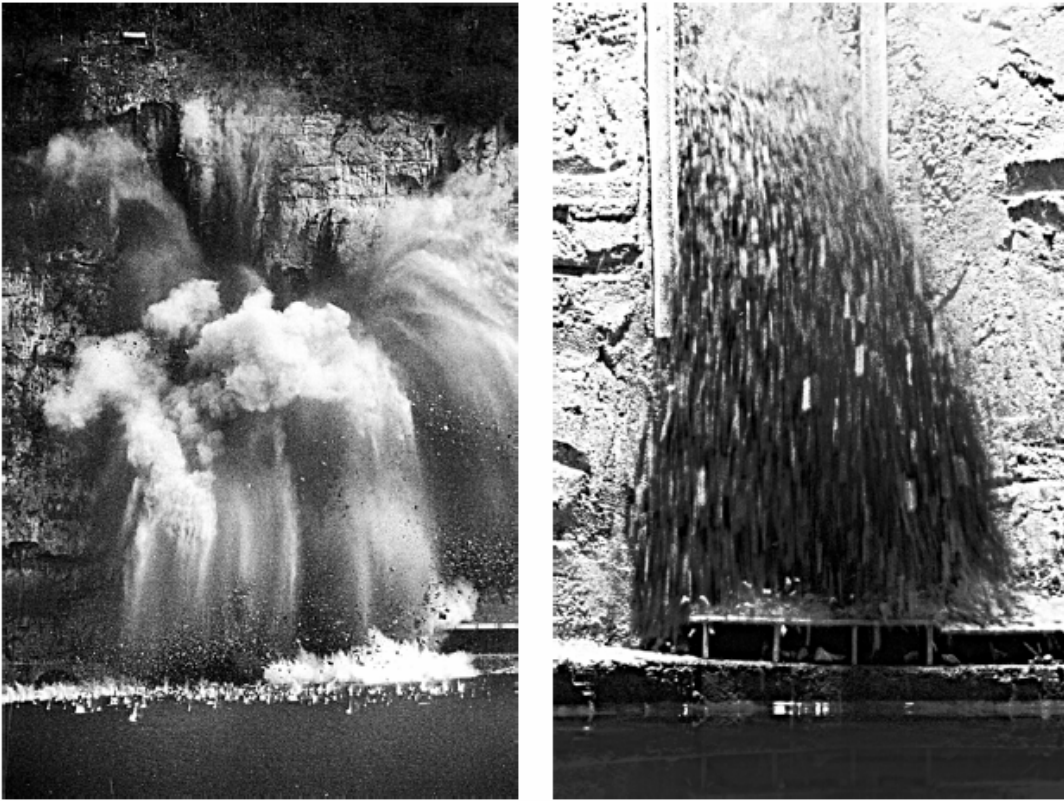


Figura C-14: cascata di roccia nel lago di Uri circa 4s dopo l'esplosione: a) Esplosione del 10 Aprile 1992 b) modello fisico in similitudine di Froude a scala 1:400. ( Müller, 1992).

Sono stati acquisiti un gran numero di dati durante la campagna di misura, inclusa l'altezza d'onda al largo, altezza di risalita e velocità delle particelle a 4 m dal fondo del lago (Müller e Schurter, 1993 [31]). Le registrazioni d'onda ottenute con le celle di pressione sono mostrate in Figura C-15 (Müller, 1994 [30]). La collocazione delle celle di pressione è indicata in Figura C-13.

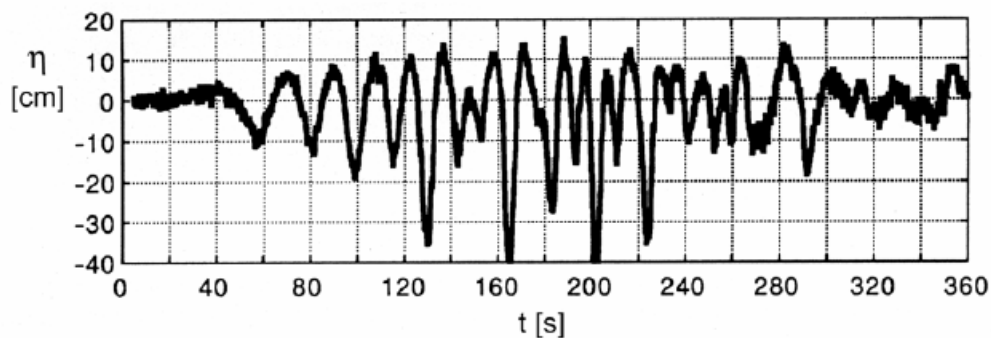


Figura C-15: registrazione dell'onda con cella di pressione collocata a 1330 m dal sito di impatto.

La registrazione dell'onda mostrata in Figura C-15, fu influenzata da riflessioni d'onda dovute alla posizione a solo 200 m offshore. Solo la prima piccola cresta d'onda, a  $t = 40s$  dopo

l'esplosione, non è stata influenzata dalle riflessioni d'onda, infatti non è possibile separare onde incidenti e riflesse dalla registrazione. La prima onda era alta 0,18 m, lunga 1000 m e viaggiava ad una velocità di propagazione di 37 m/s. La prima onda era in regime di profondità intermedia (Dean and Dalrymple, 1991 [6]). Müller (1994) [30] ha confrontato i dati sul campo con le misurazioni ottenute nel modello in scala 1:400 del laboratorio VAW prima dell'esplosione. I run-ups d'onda e le riflessioni erano significativamente smorzati dagli effetti della scala, in laboratorio dovuti alle ampiezze d'onda estremamente piccole, di soli pochi millimetri. Le risalite d'onda e le riflessioni erano fattori troppo piccoli in laboratorio in confronto ai valori previsti dalla teoria e dai fattori di run up ottenuti dai dati sul campo.

### *C.1.6 Vulcano Unzen, Giappone.*

Diversi tsunami disastrosi causati da frane sono stati documentati in Giappone. La peggiore catastrofe avvenne il 21 maggio 1792 nel complesso vulcanico di Unzen, sull'isola di Kyushu. Un semplice collasso gravitazionale del domo lavico di Mayuyama provocò una valanga di detrito che crollò nel mare di Ariake (Ogawa, 1924 [32]). Una topografia sintetica del vulcano di Unzen nella penisola di Shimabara e del mare di Ariake è mostrata in Figura C-16 a). Katayama (1974) [23] mostrò che nessuna eruzione esplosiva accompagnò il collasso della roccia fredda a Mayuyama. Il domo lavico si formò a causa dell'attività vulcanica che avvenne circa 4000 anni prima del collasso. Era attiva nel 1792 un'altra bocca vulcanica dell'Unzen, ad una distanza di 4 km dal domo lavico di Mayuyama. Il 21 aprile 1792 cominciarono una serie di terremoti maggiori, una deformazione e piccoli movimenti di frana, precedettero il collasso del Mayuyama.

La paura delle frane spinse all'evacuazione di tutti i residenti di Shimabara un mese prima del collasso, la preoccupazione calò quando la sismicità passò e gli abitanti ritornarono alle loro case prima della catastrofe. Il 21 maggio 1792 il domo lavico collassò ad un'altezza di circa 700 m, la cicatrice di frana a forma di anfiteatro, mostrata in Figura C-16 b) si estende per circa 1,3 km. L'altezza e la distanza dalla parte più alta della frana fino al piede della deposizione erano rispettivamente 760 m e 6.5 km (Suzuki and Furuya, 1999 [42]), la valanga di detrito aveva un volume di  $0.34 \text{ km}^3$  (Siebert et al., 1987 [39]), circa l'80% del volume della frana entrò nel mare di Ariake.

La deposizione sottomarina copre un'area di circa  $15 \text{ km}^2$  e prolunga la linea di riva di quasi 1 km. La valanga di detrito andò sulla parte più a sud di Shimabara causando poche migliaia di vittime. Il mare di Ariake ha una profondità massima di 64 m, vicino la zona di impatto,

(Slingerland and Voight, 1979 [41]), molte parti sono molto basse, con profondità dell'acqua tra 10 e 20 m (Aida, 1975[1]).

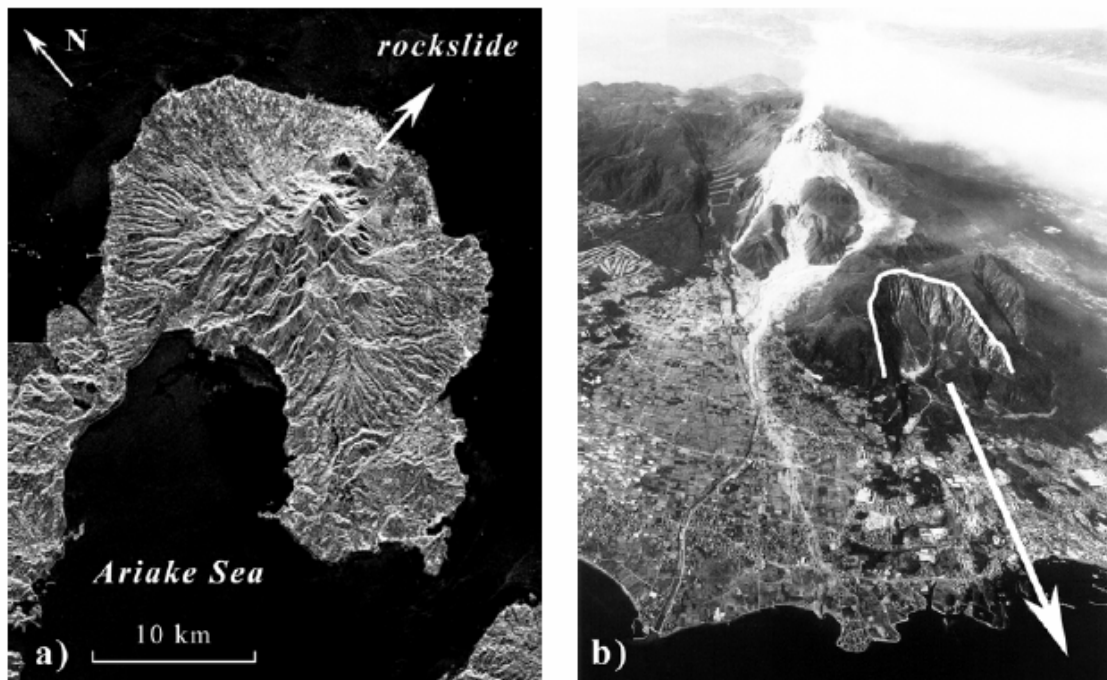


Figura C-16: Vulcano Unzen: a) Topografia acquisita con immagine radar (Ph NASA, Jet Propulsion Laboratory, P-45150). b) Vista da est del vulcano nella penisola di Shimabara nel 1992, è indicata la cicatrice di frana a forma di anfiteatro (Foto: Asia Air Survey Co. Ltd.).

La valanga di detrito urtò contro il mare di Ariake con un angolo di impatto di  $10^\circ$  (Slingerland e Voight, 1979 [41]). L'impatto della frana creò una serie di tre onde principali in breve successione, la seconda onda era la più alta. Le altezze d'onda riportate vanno da 10 fino a 30 m (Ogawa, 1924 [32]). La maggior parte delle vittime a Shimabara furono causate da espansioni laterali e riflussi delle onde di impulso, lo tsunami colpì le aree basse della città a nord della zona di impatto e spazzò un'area compresa tra i 77 km della linea di costa della penisola fino ad arrivare 1 km all'interno (Ogawa, 1924 [32]). Lo tsunami viaggiò per 20 km attraverso il mare di Ariake, e causò altre 4996 vittime nella provincia di Kumamoto. Il numero totale di vittime fu stimato intorno ai 14 500. Il danno colpì più di 120 km di costa, su entrambe le sponde del mare di Ariake. Furono spazzate via circa 6000 case, furono inondati i campi che ricoprivano un'area di circa  $25 \text{ km}^2$  e più di 1 600 imbarcazioni andarono perse (Ogawa, 1924 [32]).

Simulazioni numeriche di Aida (1975) [1] concordavano abbastanza bene con il comportamento dello tsunami osservato, assumendo un influsso di  $18\,000 \text{ m}^3/\text{min}$  per unità di lunghezza di costa, con un periodo che va da 2 a 4 minuti, una velocità di impatto della frana di circa  $20 \text{ m/s}$  l'energia dello tsunami stimata era  $5 \cdot 10^{12} \text{ J}$ , due o tre ordini di magnitudine più bassa della energia potenziale disponibile della valanga di detrito, si è assunto come velocità di

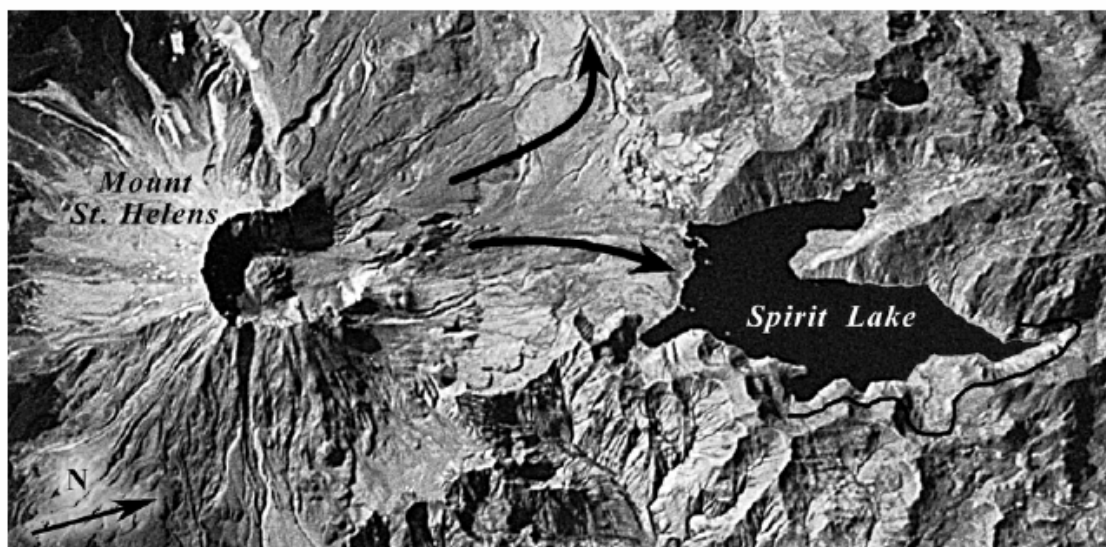
propagazione dello tsunami quella circa 40 km/h. Sarebbe bastato un avvertimento di soli 30 minuti e anche meno per le città lungo la penisola di Shimabara.

### *C.1.7 Lago di Spirit, Monte St. Helens*

Il 18 maggio 1980 collassò il settore sporgente del versante nord del monte St. Helens, creando probabilmente il più grande movimento di massa nella storia riportata.

Il collasso fu preceduto da una serie di sismi, da moderati a intensi, con un coinvolgimento di un volume di roccia totale di 2.5 km<sup>3</sup>. Il movimento di massa fu classificato da Voight et al. (1981) [48] come una valanga-scivolamento di roccia dopo Mudge (1965) [29]. Il movimento iniziale della frana in base all'esame di foto testimoni (Voight, 1981 [48]) fu interpretato come una serie di cedimenti regressivi di versante.

L'evento può essere suddiviso in stadi separati (Voight et. al, 1983 [48]), il cedimento della serie (frana A) iniziò a scivolare in direzione nord dalla sommità della montagna circa 10 secondi dopo un sisma di magnitudo 5,2 (Voight, 1981[48]). La frana A aveva un volume di 0,8 km<sup>3</sup>; la superficie di scollamento immergeva di 50° - 60 da 2800 m verso nord °, si appiattiva con la profondità. Le scie della frana A sono mostrate in Figura C-17.



*Figura C-17: Lago Spirit e Montagna St. Helens (dopo 18 Maggio, 1980) (foto: NASA).*

Dettagli inerenti l'evoluzione della frana furono constatati da sequenze di fotografie di testimoni (Voight, 1981 [48] [49]; Voight et al., 1981). Entro circa 40 s dal momento dello scollamento, la frana A raggiunse una velocità massima di circa 80 m/s, il cedimento del versante nord del monte St. Helens iniziò come una frana, mentre avvenivano dislocazioni lungo una o più superfici o zone relativamente vicine (Varnes, 1978 [44]). Era comunque evidente dai depositi

che il materiale si disintegrò in particelle di varie dimensioni, assumendo le caratteristiche di una valanga di detrito fluente, le particelle interagivano l'una con l'altra e con i fluidi interstiziali. Un lobo della frana A si conficcò nel lago Spirit ad una velocità presunta di 80 m/s, l'impatto causò un'onda di risalita di oltre 200 m sopra il livello del lago originari e lungo diversi km della riva a est del lago Spirit (Figura C-17).

Il detrito depositato nel lago Spirit aveva un volume totale di 0,43 km<sup>3</sup> e la maggior parte di esso proveniva dalla frana A (Meyer and Carpenter, 1982 [26]), il lago fu sbarrato immediatamente dalla valanga di detrito e il livello medio del lago si innalzò di 60m.

Altre parti della frana A fecero una rotazione a sinistra di 90° e vennero giù dalla North Fork Toutle River valley.

Nel frattempo, il cedimento regressivo continuò con le frane B e C che interagirono appena con l'acqua del lago Spirit, si fa riferimento a Voight et. al (1983) [47] o Glicken (1996) [12] per maggiori descrizioni.

L'energia potenziale rilasciata durante l'intera sequenza di frane fu stimata di  $7 \cdot 10^{16}$  J (Voight et al., 1983 [47]).

Dopo l'evento furono analizzati dettagliatamente i depositi di valanga di detrito (Glicken, 1996) [12], la gravità media specifica dei solidi fu stimata sui 2,7 t/m<sup>3</sup> e la densità media della massa del materiale disturbato sui 1.68 t/m<sup>3</sup>. La densità media pre-frana di parte del monte St.Helens, che divenne valanga di detrito, era calcolata intorno ai 2,31 t/m<sup>3</sup>, la diminuzione nella densità media era dovuta alla dilatazione causata dalla fatturazione del blocco massivo, dalla disgregazione, dall'interazione delle particelle e dal mescolamento durante il trasporto.

La porosità media del materiale disturbato fu stimata intorno al 38%. Il materiale depositato nella grandezza dei granuli risulta eterogeneo variando da particelle di dimensione dell'argilla a blocchi sopra i 100 m di diametro (Voight et al., 1983 [47]). Campioni di valanga di detrito contenevano una percentuale di peso del 46 % in ghiaia e 45% in sabbia, l'angolo d'attrito medio era stimato intorno a 41° e la permeabilità in sito era sui  $9 \cdot 10^{-6}$  m/s.

Un confronto tra le foto aeree scattate prima e dopo che la valanga di detrito urtasse il lago Spirit mostrò che il lago è aumentato in dimensioni ed è aumentato in altezza, livello medio aumentò da 975 m (prima del 18 maggio 1980) a 1049 m nel 1981, la superficie del lago da 5,3 km<sup>2</sup> a 8,9 km<sup>2</sup> (Dion and Embrey, 1981 [7]), laddove la massima profondità dell'acqua diminuì da 58 m a 34 m (Embrey and Dion, 1988[8]).

Il volume di 0,43 km<sup>3</sup> detrito depositato, era più o meno il doppio del volume del lago pre-evento (0,2 km<sup>3</sup>). A causa dell'otturazione dello sbocco da parte dei depositi della valanga di

detrito il volume dell'acqua contenuta nel lago Spirit aumentò continuamente. Il lago Spirit conteneva  $0,45 \text{ km}^3$  di acqua, nel marzo 1983 ciò aumentò il rischio di inondazioni catastrofiche dovute ad un cedimento dello sbarramento o tracimazione (Meyer et al., 1986 [27] ). La U.S. Army Corps of Engineers iniziò a controllare il livello del lago con un piano temporaneo di pompaggio e scarico in canali di sbocco. Nell'aprile 1985, queste misure temporanee furono rimpiazzate da un tunnel divisorio permanente, lungo 2,4 km e con un diametro di 3,4 m (Sager and Chambers, 1986 [34]). Per una visione d'insieme su scala mondiale dei laghi danneggiati da frane e relativi processi si fa riferimento a Schuster and Costa (1986) [37], e Costa and Schuster (1991) [5].

## ***C.2 ONDE GENERATE DA FRANE PARZIALMENTE SOMMERSE***

### ***C.2.1 Diga del Vajont, Italia.***

Il fiume Vajont è un affluente del Piave, siamo in Veneto nella zona della Alpi Dolomitiche 100 km a nord di Venezia. La diga ad arco a doppia curvatura in calcestruzzo venne iniziata nel 1957 dal Gruppo S.A.D.E. (Società Adriatica di Elettricità di Venezia) e venne portata a termine nel 1959. I dati principali della diga sono:

- altezza complessiva: 264,6 m;
- larghezza alla base: 27,0 m;
- larghezza in sommità: 3,4 m;
- livello di massimo invaso: 722,5 m slm;
- livello di massima piena: 462,0 m slm;
- livello massimo: 725,5 m slm.

La capacità di invaso è:

- complessiva: 168,715 milioni di  $\text{m}^3$ ;
- utile: 150,000 milioni di  $\text{m}^3$ .

Il 9 ottobre 1963 alle ore 22:39 una frana si staccò dalle pendici settentrionali del monte Toc precipitando nel bacino artificiale sottostante. Una massa compatta di oltre 270 milioni di metri cubi di rocce e detriti furono trasportati a valle in un attimo, accompagnati da un'enorme boato. Tutta la costa del Toc, larga quasi tre chilometri, costituita da boschi, campi coltivati ed abitazioni, affondò nel bacino sottostante, provocando una gran scossa di terremoto. Il lago



sembrò sparire, e al suo posto comparve una enorme nuvola bianca, una massa d'acqua dinamica alta più di 100 metri, contenente massi dal peso di diverse tonnellate. La forza d'urto della massa franata creò due ondate.

La prima, a monte, fu spinta ad est verso il centro della vallata del Vajont che in quel punto si allarga. Questo consentì all'onda di abbassare il suo livello e di risparmiare, per pochi metri, l'abitato di Erto. Purtroppo spazzò via le frazioni più basse lungo le rive del lago.

La seconda ondata si riversò verso valle superando lo sbarramento artificiale, innalzandosi sopra di esso fino ad investire, ma senza grosse conseguenze, le case più basse. Il collegamento viario eseguito sul coronamento della diga venne divelto, così come la palazzina di cemento, a due piani, della centrale di controllo ed il cantiere degli operai. L'ondata, forte di più di 50 milioni di metri cubi, scavalcò la diga precipitando a piombo nella vallata sottostante con una velocità impressionante. La stretta gola del Vajont la compresse ulteriormente, facendole acquisire maggior energia. Allo sbocco della valle l'onda era alta 70 metri e produsse un vento sempre più intenso, che portava con se, in leggera sospensione, una nuvola nebulizzata di goccioline. Il greto del Piave fu raschiato dall'onda che si abbatté con inaudita violenza su Longarone (Figura C-19). Quando l'onda perse il suo slancio andandosi ad infrangere contro la montagna, iniziò un lento riflusso verso valle: una azione non meno distruttiva, che scavò in senso opposto alla direzione di spinta. Altre frazioni del circondario furono distrutte, totalmente o parzialmente. Il Piave, diventato una enorme massa d'acqua silenziosa, tornò al suo flusso normale solo dopo una decina di ore.

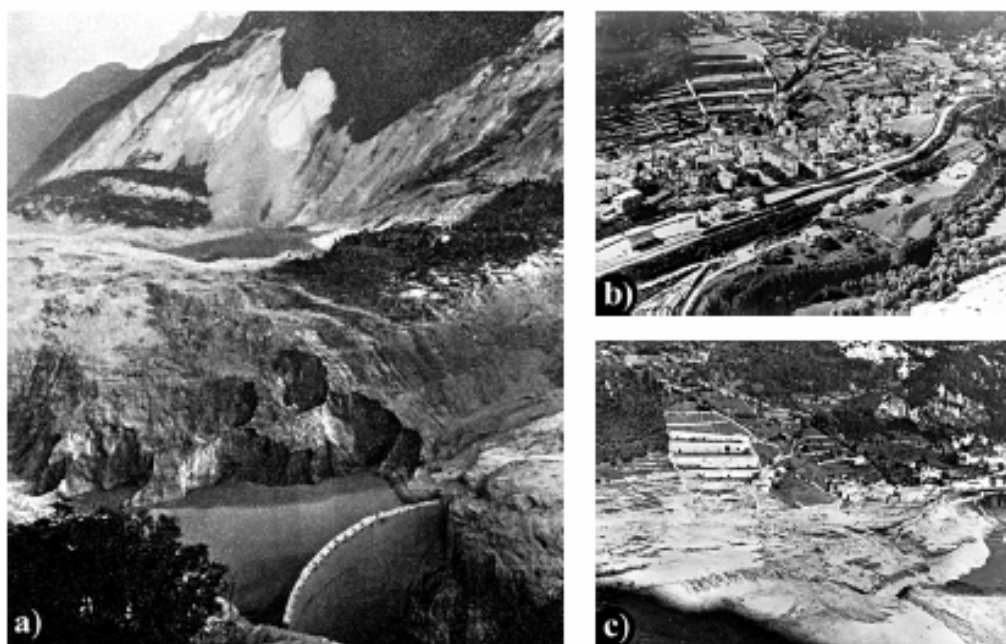
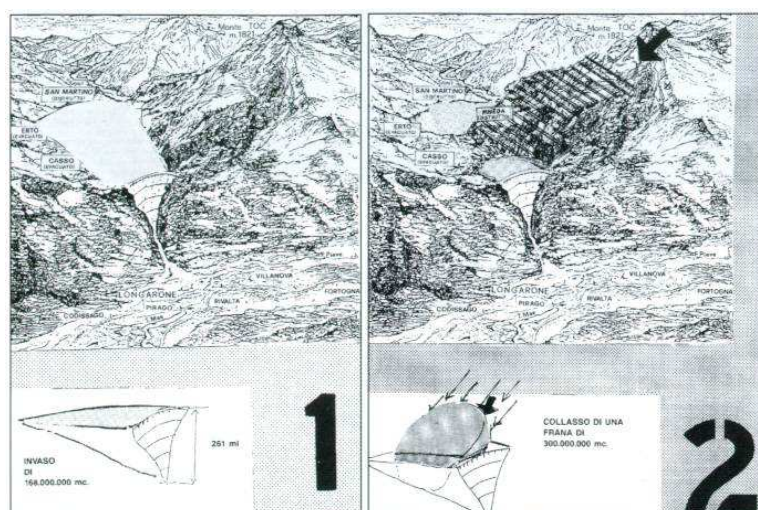


Figura C-18: a) Diga ad arco del Vajont, si nota la traccia della frana sullo sfondo. b) Cittadina di Longarone prima della catastrofe c) Cittadina di Longarone dopo l'inondazione (Foto ENEL).

Sulla possibile natura, sulla dinamica e sulla evoluzione della frana, le ipotesi formulate dai ricercatori furono molto distanti da quanto sarebbe in realtà successo. Solo studi successivi, sviluppati sempre nel campo delle pure supposizioni, portarono a conoscere meglio le possibili motivazioni del fenomeno. Il settore di ricerca interessò tecnici italiani ed internazionali.

Molte Università diedero il loro contributo ad analizzare con perizia minuziosa campioni e provini di ogni tipo. Nel contesto di questo lavoro i risultati dei professori Hendron e Patton sembrano aver individuato l'ipotesi esplicativa più plausibile delle cause dell'accaduto (Figura C-19).



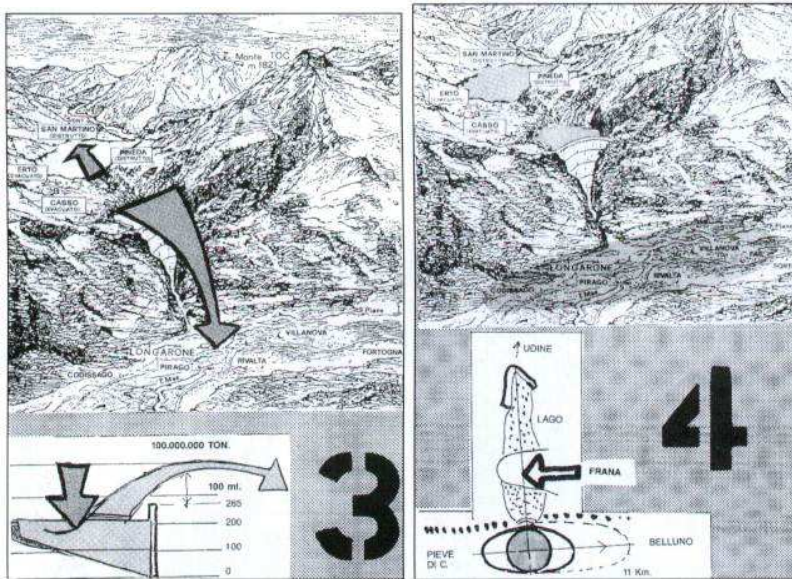


Figura C-19: Diagrammi comparati tra i livelli del lago, i livelli dei piezometri, le velocità dei movimenti della frana e le precipitazioni, dal 1960 al 1963 (Hendron e Patton, 1985, in base ai dati di Muller, 1964)

Nell'evento franoso si possono individuare due categorie di cause: preparatorie e scatenanti.

Le cause preparatorie o predisponenti per il disastro del Vajont sono state varie, e cioè:

- la costituzione geologica (come sopra specificato) del versante nord del Monte Toc;
- il disboscamento;
- un progressivo decadimento delle caratteristiche meccaniche della base delle rocce interessate al movimento;

secondariamente, gli sbancamenti e le incisioni provocate dalla costruzioni delle stradali e dei canali nell'area in oggetto.

Cause determinanti e scatenanti

- L'intensità eccezionale delle piogge che si registrarono nei 2 mesi precedenti l'evento franoso nella valle del torrente Vajont;
- L'invasamento e lo svasamento repentino che venne effettuato durante i mesi di collaudo della diga e che ha asportato, in soluzione o in sospensione, materiale cementante le rocce in questione, alterandone le resistenze meccaniche e che in un secondo momento furono soggette al fenomeno franoso.
- Le precipitazioni provocarono: l'appesantimento della falda rocciosa, l'imbibizione del suo letto ed un'azione lubrificante della superficie di scorrimento della futura frana.

Inoltre, nel tratto più elevato del Monte Toc, soggetto a forme di erosione carsica, l'acqua si era infiltrata nel sottosuolo minandone la solidità delle masse rocciose.

- Le operazioni di invaso e svasso, effettuate durante il collaudo della diga, determinarono delle fessure nelle rocce, un effetto di lavaggio e di asportazione del materiale più fine, peggiorandone la coesione ed alterandone la permeabilità. Inoltre l'acqua ha esercitato una sottotensione tra i grani interstiziali della roccia fino a permetterne il "galleggiamento". Questo spiegherebbe come la massa franante sia precipitata tutta in blocco ed in tempi rapidissimi.
- Tanti altri effetti si sono potuti esercitare nella massa interessata dal fenomeno franoso; non è tuttavia possibile stabilire una qualche particolare influenza definitiva nel dissesto franoso e neppure è possibile stabilire i tempi ed i modi con cui ciascun fattore può aver influito sul crollo. Tuttavia nessuno di essi poteva risultare determinante.

Gli effetti morfologici creati dall'onda furono impressionanti. L'acqua, alla pari di un potente abrasivo, asportò la vegetazione e parte delle coperture moreniche e detritiche, mettendo a nudo la viva roccia sottostante. Anche una buona parte del corpo franoso, investito dall'onda di ritorno, subì questo processo di asportazione. Le opere umane furono completamente distrutte, all'infuori della diga che perse la sua strada di coronamento: del cantiere non restò più traccia.

Una sezione trasversale geologica della gola del Vajont con indicata la posizione della massa franata pre e post evento è indicate in Figura C-20.

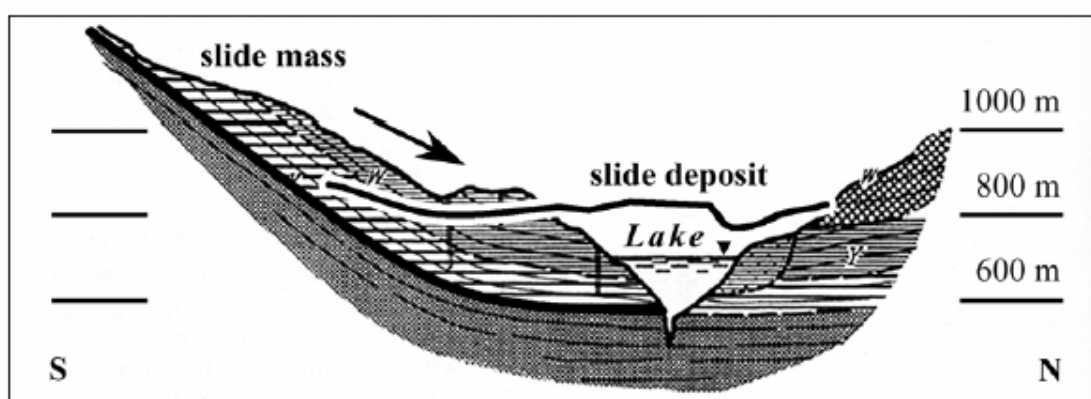


Figura C-20: sezione trasversale geologica della gola del Vajont.

L'erosione maggiore si ebbe proprio in corrispondenza della diga dove vennero asportati grossi blocchi di roccia dalle strutture che sostenevano le gallerie della statale che congiungeva Longarone alla Val Cellina. Il bacino del Vajont restò diviso in tre parti: un lago di considerevoli dimensioni a monte della frana, conosciuto oggi come "lago di Erto", un lago più piccolo a valle dal lato della diga, ed un terzo che scomparve in breve tempo, formatosi sul

corpo stesso della frana, in corrispondenza del torrente Messalezza. Il lago di Erto ridusse la sua dimensione, ma il livello dell'acqua salì di circa 12 metri, arrivando a quota 712, con un volume maggiore di circa 20 milioni di metri cubi.

Allo sbocco della gola del Vajont, sul versante sinistro del Piave, l'onda scavò una fossa talmente profonda (circa 45 metri) che, per più di un mese, fu occupata da un laghetto. Terreno e detriti furono completamente asportati anche sul versante destro, sebbene l'acqua avesse ridotto la sua spinta.

È indubbio che il fenomeno franoso in oggetto è stato un avvenimento eccezionale. Con maggiore umiltà intellettuale sarebbe stato forse possibile prevedere il tragico evento. Le conoscenze scientifiche e i mezzi tecnici allora disponibili sarebbero stati probabilmente sufficienti per individuare il fenomeno franoso:

- lo scivolamento della massa come un corpo unico con lo scadimento delle caratteristiche meccaniche;
- il modulo elastico delle rocce;
- la caduta precipitosa della massa franante con una rapida accelerazione.

L'energia rilasciata fu stimata in  $1.3 \cdot 10^{15}$  J (Erismann, 1979 [9]). La risalita nella direzione del prolungamento dell'asse della frana, verso il centro abitato di Casso, fu di circa 270 m.

Il danno fu stimato in 200 milioni di dollari americani equivalente, che attualizzato ad oggi risulta pari a un miliardo di dollari (Schuster, 1996 [38]).

### *C.2.2 Ritter Island, Papua New Guinea*

Ritter Island è situata nel mare di Bismarck a NE della Papua Nuova Guinea. Il vulcano di Ritter è uno dei tanti vulcani attivi nell'arco vulcanico di Bismarck lungo più di 1000 km. L'isola scomparve sotto al mare quasi totalmente il 13 marzo 1888. L'evento sembra essere stato semplicemente un collasso del cono accompagnato da un'attività eruttiva (se c'è stata) modesta. La scomparsa per subsidenza dell'isola Ritter diede origine ad uno tsunami che fu osservato a distanze superiori di 500 km, l'urto dello tsunami deve essere stato avvertito ad ovest nella direzione del cedimento di versante, ma la sola registrazione di run up disponibile fu dalla Nuova Bretagna, localizzata ad est dell'isola Ritter, dove fu registrata una massima onda di run up di 15 m. (Cooke, 1981 [4]). Della precedente altezza di 780m del vulcano rimase sopra il livello del mare solo una piccola parte. L'isola di Ritter oggi è lunga 1,9 km a forma di arco, di cui la parte più a ovest è una scarpata cuspidale della parete del vulcano esposta a W-NW. La

scarpata è più alta nel centro dell'isola (circa 140 m sopra il livello del mare) ed è ridotta in altezza in direzione NW e SW. Un rilevamento batimetrico rivelò un largo anfiteatro di valanga, in direzione ovest sull'isola Ritter (Johnson, 1987 [20]), a forma di arco di 4,4 km in ampiezza che racchiude un'area di circa 13 km<sup>2</sup>. Assumendo che l'isola di Ritter sia stata asimmetrica precedentemente al collasso ( Figura C-21) il volume della roccia dislocata nel 1888 fu stimata da 4 a 5 km<sup>3</sup>. Le rocce sono di composizione basaltica e andesitica a bassi silicati.

La parte a ovest si inclinò di circa 20° - 25° laddove il fianco più ad est rappresenta il fianco del vulcano prima dell'evento con un massimo angolo di circa 45°. L'evento del 1888 fu unico, probabilmente l'ultimo, di molti esempi simili di cedimenti di versante a larga scala sulle isole vulcaniche della Papua Nuova Guinea.

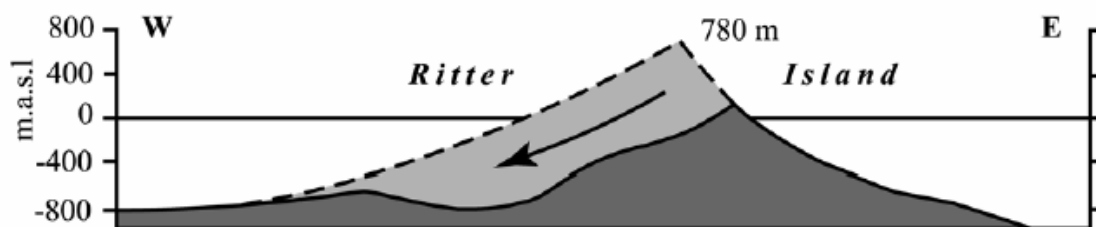


Figura C-21: Asse della frana: profilo WE dell'isola di Ritter, (1987 Johnson)

### C.2.3 Vulcano Krakatau, Indonesia

Il vulcano Krakatau è situato nello stretto di Sunda in Indonesia approssimativamente 40 km ad ovest di Giava e a sud di Sumatra. L'eruzione del Krakatau nel 1883, fu responsabile di uno dei peggiori disastri naturali nella storia documentata. La più intensa attività eruttiva avvenne il 27 agosto 1883 quando la parte più a nord del cono, alto 832 m, del Krakatau collassò nel mare. Dopo il collasso rimase solo una piccola parte del Krakatau, dall'area di 33 km<sup>2</sup>, prima dell'evento, circa 23 km<sup>2</sup> collassarono e 5 km<sup>2</sup> si aggiunsero durante l'eruzione. Durante il collasso il vulcano fu tagliato quasi perpendicolarmente e la sua struttura interna basaltica divenne visibile.

L'isola rimanente, con la sua sezione naturale di 832 m, è mostrata in Figura C-22 b). Le rocce di Krakatau consistevano in due gruppi petrografici: andesite pirossenica e basalto, la loro densità era presumibilmente sui 2,6 t/m<sup>3</sup>. Prima dell'evento il mare era profondo circa 300 m, lo tsunami generato spazzò la costa di Sumatra e Giava nello stretto di Sunda e causò 36 000 vittime.

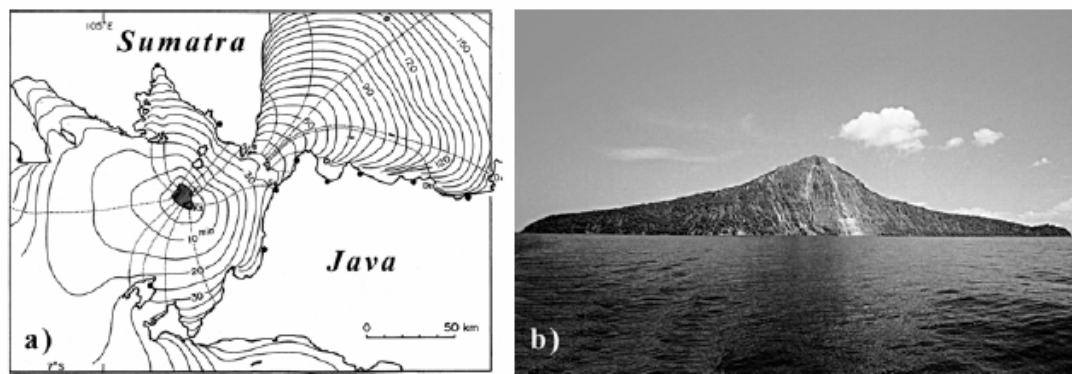


Figura C-22: a) diagramma di rifrazione dello tsunami del 1883 (Yokoyama, 1981). b) Krakatau con scarpata formata dal cedimento dovuto all'eruzione dell'Agosto 1883 (Foto: M. Krafft).

Lo tsunami fu tra i più grandi mai registrati, si ebbero misurazioni di marea nelle Mauritius e la penisola Arabica, ad una distanza di più di 7000 km. Simkin e Fiske (1983) [40] hanno prodotto un'eccellente compilazione di tutte le registrazioni disponibili, il 27 agosto 1883 si evidenziò una sola onda di grandezza eccezionale (tsunami) e molte altre più piccole.

L'onda più alta fu causata dal franamento del Krakatau e l'impatto di una enorme massa di roccia con mare (Verbeek, 1884 [46] ; Self e Rampino, 1981 [35] ; Camus e Vincent, 1983 [3; Francis, 1985 [10] ).

La maggior parte delle onde più piccole erano onde aria/mare (Francis, 1985) [10]. Wharton (1888) [50] affermò che alcune onde erano prodotte dalla caduta di materiali piroclastici nell'acqua e Latter (1981) [24] dimostrò che alcune delle onde erano causate dalla messa in posto di imponenti colate piroclastiche. Harkrider e Press (1967) [16] applicarono la teoria della propagazione di impulso all'atmosfera e all'oceano associate.

Rispetto ai percorsi presumibili dell'onda, l'associazione di risonanza portò ad un arrivo anticipato delle onde del mare alle stazioni più lontane come le Hawaii. L'innalzamento dell'onda più grande nell'oceano fu di circa 15 m (Verbeek, 1884) [46]. a raggiungere un'altezza di 36 m sulla costa ovest di Giava nello stretto di Sunda vicino Anjer a 54 km da Krakatau, fino ad un'altezza di 35 m a Merak, a 64 km da Krakatau, (Verbeek, 1884) [46].

Le altezze di onda di risalita differivano molto da luogo a luogo e dipendevano dall'acclività e dalla forma della linea di costa, dalla profondità del mare lungo la linea di costa, dalla distanza da Krakatau e dal grado di protezione della costa da parte delle isole. Il diagramma di rifrazione dello tsunami del Krakatau calcolato da Yokoyama (1981) [53] usando equazioni di onda di acqua bassa è mostrato in Figura C-22.

Il diagramma di rifrazione mostra il circolare allargarsi dello tsunami dal punto di origine e la rifrazione d'onda dovuta ai cambiamenti della batimetria. Nello stretto di Sunda, a NE del Krakatau, con una profondità media dell'acqua di 40 m, le linee del tempo di propagazione sono a distanza ravvicinata, il che indica una velocità di propagazione lenta. A causa della profondità dell'acqua (di più di 1000m) verso il SW del Krakatau la spaziatura delle linee del tempo di propagazione d'onda e la velocità di propagazione d'onda si infittiscono.

### C.3 BIBLIOGRAFIA

[1] Aida, I. (1975). *Numerical experiments of the tsunamis associated with the collapse of Mt. Mayuyama in 1792*. *J. Seismol. Soc. Japan (Zisin)* 28(4):449-460. (In Japanese with English abstract).

[2] Bjerrum, L., JØrstad, F. (1968). *Stability of rock slopes in Norway*. *Norwegian Geotechnical Institute Publication* 79:1-11. *Norwegian Geotechnical Institute, Oslo*.

[3] Camus, G., Vincent, P.M. (1983). *Discussion of a new hypothesis for the Krakatau volcanic eruption in 1883*. *J. Volcanol. and Geotherm. Res.* 19:167-173.

[4] Cooke, R.J.S. (1981). *Eruptive history of the volcano at Ritter Island*. *Cooke-Ravian Volume of Volcanological Papers, Ed. Johnson, R.W. Geol. Surv. Papua New Guinea Mem.* 10:115-123.

[5] Costa, J.E., Schuster, R.L. (1991). *Documented historical landslide dams from around the world*. *U.S. Geological Survey Open-File Report* 91-239.

[6] Dean, R.G., Dalrymple, R.A. (1991). *Water wave mechanics for engineers and scientists. Advanced series on ocean engineering* 2. *World Scientific, Singapore*.

[7] Dion, N.P., Embrey, S.S. (1981). *Effects of Mount St.Helens eruption on selected lakes in Washington*. *USGS Circular* 850-G.

[8] Embrey, S.S., Dion, N.P. (1988). *Effects of the 1980 eruption of Mount St.Helens on the limnological characteristics of selected lakes in western Washington*. *USGS Water-Resources Investigations Report* 87-4263.

[9] Erismann, T.H. (1979). *Mechanisms of large landslides*. *Rock Mechanics* 12(1):15-46.

[10] Francis, P.W. (1985). *The origin of the 1883 Krakatau tsunamis*. *J. Volcanol. and Geotherm. Res.* 25:349-363.

[11] Fritz, H.M., Hager, W.H., Minor, H.-E. (2001). *Lituya Bay case: rockslide impact and wave run-up*. *Science of Tsunami Hazards* 19(1):3-22.

[12] Glicken, H. (1996). *Rockslide-debris avalanche of May, 18, 1980, Mount St.Helens Volcano, Washington*. *U.S. Geological Survey Open-File Report* 96-677.



- 
- [13] Grimstad, E., Nesdal, S. (1991). *The Loen rockslides – a historical review. Norwegian Geotechnical Institute Publication 182:1-6. Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.*
- [14] Harbitz, C.B. (1992). *Model simulations of tsunamis generated by the Storegga slides. Mar. Geol. 105:1-21.*
- [15] Harbitz, C.B., Pedersen, G., Gjevik, B. (1992). *Numerical simulations of large water waves due to landslides. J. Hydr. Engrg., ASCE 118(10):1325-1342.*
- [16] Harkrider, D.G., Press, F. (1967). *The Krakatoa air-sea waves: an example of pulse propagation in coupled systems. Geophys. J. R. Astron. Soc. 13:149-159.*
- [17] Johnson, C., Mader, C.L. (1994). *Modelling the 105ka Lanai tsunami. Science of Tsunami Hazards 12(1):33-38.*
- [18] Johnson, R.S. (1997). *A modern introduction to the mathematical theory of water waves. Cambridge University Press.*
- [19] Johnson, R.W. (1978). *Blackhawk landslide, California, USA. Rockslides and avalanches 1:481-504, Ed. Voight, B. Developments in geotechnical engineering 14A. Elsevier, Amsterdam.*
- [20] Johnson, R.W. (1987). *Large scale volcanic cone collapse: the 1888 slope failure of Ritter volcano, and other examples from Papua New Guinea. Bull. Volcanology 49:667-679.*
- [21] Johnson, W.L., Bermel, K.J. (1949). *Impulsive waves in shallow water as generated by falling weights. Trans. Am. Geophys. Union 30(2):223-230.*
- [22] JØrstad, F. (1968). *Waves generated by landslides in Norwegian fjords and lakes. Norwegian Geotechnical Institute Publication 79:13-32. Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.*
- [23] Katayama, N. (1974). *Old records of natural phenomena concerning the Shimabara catastrophe. Sci. Rpt. Shimabara Volcano Observ., Fac. Sci. Kyushu Univ. 9.*
- [24] Latter, J.H., (1981). *Tsunamis of volcanic origin: summary of causes, with particular reference to Krakatau, 1883. Bull. Volcanol. 44(3):467-490.*
- [25] Meyer, R.E. (1971). *Introduction to mathematical fluid dynamics. John Wiley, New York.*
- [26] Meyer, W., Carpenter, P.J. (1982). *Filling of Spirit Lake, Washington, May 18, 1980, to July 31, 1982. U.S. Geological Survey Open-File Report 82-771.*
- [27] Meyer, W., Sabol, M.A., Schuster, R.L. (1986). *Landslide dammed lakes at Mount St.Helens, Washington. Landslide dams: processes, risk and mitigation, Ed. Schuster, R.L. Geotechnical Special Publication, ASCE, 3:21-41.*
- [28] Miller, D.J. (1960). *Giant waves in Lituya Bay, Alaska. Geological Survey Professional Paper 354-C. U.S. Government Printing Office, Washington D.C.*
-

- 
- [29] Mudge, M.R. (1965). *Rockfall-avalanche and rockslide-avalanche deposits at Sawtooth Ridge, Montana. Bull. Geol. Soc. Am.* 76:1003-1014.
- [30] Müller, D. (1994). *Physical modelling and field measurements of impulse waves. Proc. Int. Symp. Waves-Physical and Numerical Modelling*, Eds. M. Isaacson & M. Quick, University of British Columbia, Vancouver, Canada, 1:307-315.
- [31] Müller, D., Schurter, M. (1993). *Impulse waves generated by an artificially induced rockfall in a Swiss lake. Proc. 25th IAHR Congress, Tokyo, Japan*, 4:209-216.
- [32] Ogawa, T., (1924). *Notes on the volcanic and seismic phenomena in the volcanic district of Shimabara, with a report on the earthquake of December 8, 1922. Mem. Coll. Sci., Kyoto Imp. Univ., Ser. B*, 1(2).
- [33] Pararas-Carayannis, G. (1999). *Analysis of mechanism of tsunami generation in Lituya Bay. Science of Tsunami Hazards* 17(3):193-206.
- [34] Sager, J.W., Chambers, D.R. (1986). *Design and construction of the Spirit Lake outlet tunnel, Mount St. Helens, Washington. Landslide dams: processes, risk and mitigation*, Ed. Schuster, R.L. *Geotechnical Special Publication*, ASCE, 3:42-58
- [35] Self, S., Rampino, M.R. (1981). *The eruption of Krakatau. Nature* 294:699-704.
- [36] Sharpe, C.F.S., 1938. *Landslides and related phenomena. Columbia Univ. Press, New York.*
- [37] Schuster, R.L., Costa, J.E. (1986). *A perspective on landslide dams. Landslide dams: processes, risk and mitigation*, Ed. Schuster, R.L. *Geotechnical Special Publication*, ASCE, 3:1-20.
- [38] Schuster, R.L. (1996). *The 25 most catastrophic landslides of the 20th century. Landslides*, Eds. Chacón et al., Balkema, Rotterdam.
- [39] Siebert, L., Glicken, H., Tadahide, U. (1987). *Volcanic hazards from Bezymianny- and Bandai-type eruptions, Bull. Volcanol.* 45:435-459
- [40] Simkin, T., Fiske, R.S. (1983). *Krakatau 1883 – the volcanic eruption and its effects. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.*
- [41] Slingerland, R.L., Voight, B. (1979). *Occurrences, properties and predictive models of landslide-generated impulse waves. Rockslides and avalanches* 2:317-397, Ed. Voight, B. *Developments in geotechnical engineering* 14B. Elsevier, Amsterdam.
- [42] Suzuki, H., Furuya, T. (1999). *Hazard mapping at the Unzen volcano and the 1792 Mayuyama landslide. Landslides of the world*, Ed. Sassa, K., Japan Landslide Society. Kyoto University Press.
- [43] Tocher, D., Miller, D.J. (1959). *Field observations on effects of Alaskan earthquake of 10 July, 1958. Science* 129:394-395.
- [44] Varnes, D.J. (1978). *Slope movements types and processes. Landslides analysis and control*, Eds. Shuster, R.L., Krizek, R.J. *Transportation Res. Board Spec. Rep.* 176:11- 33.
-

[45] Varnes, D.J. (1958). *Landslide types and processes. Highw. Res. Board Spec. Rep. 29. Natl. Acad. Sci.-Natl. Res. Counc. Publ. 544:22-47.*

[46] Verbeek, R.D.M. (1884). *The Krakatau eruption. Nature 30:10-15.*

[47] Voight, B., Janda, R.J., Glicken, H., Douglass, P.M. (1983). *Nature and mechanics of the Mount St. Helens rockslide-avalanche of 18 May 1980. Géotechnique 33:243-273.* von Huerte, R., Bourgois, J., Miller, J., Pautot, G. (1989). *A large tsunamogenic landslide and debris flow along the Peru Trench. J. Geophys. Res. 94:1703-1714.*

[48] Voight, B. (1981). *Time scale for the first movements of the May 18 eruption. The 1980 eruptions of Mount St. Helens, Washington, Eds. Lipman, P.W., Mullineaux, D.R. U.S. Geological Survey Professional Paper 1250:69-86.*

[49] Voight, B., Glicken, H., Janda, R.J., Douglass, P.M. (1981). *Catastrophic rockslide-avalanche of May 18. The 1980 eruptions of Mount St. Helens, Washington, Eds. Lipman, P.W., Mullineaux, D.R. U.S. Geological Survey Professional Paper 1250:347-377.*

[50] Wharton, W.J.L. (1888). *On the seismic sea waves caused by the eruption of Krakatau August 26th and 27th, 1883. The eruption of Krakatau, and subsequent phenomena, Ed. Symons, G.L. The report of the Krakatoa Committee of the Royal Society, 89-151, London.*

[51] Wiegel, R.L. (1964). *Oceanographical engineering. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.*

[52] Wiegel, R.L. (1960). *A presentation of cnoidal wave theory for practical application. J. Fluid Mech. 7:273-286.*

[53] Yokoyama, I. (1981). *A geophysical interpretation of the 1883 Krakatau eruption. J. Volcanol. and Geotherm. Res. 9:359-378.*