

STRADE

&

Studi e Progetti
Grandi infrastrutture
Cantieri Impianti Ambiente
Macchine Tecnologie Materiali

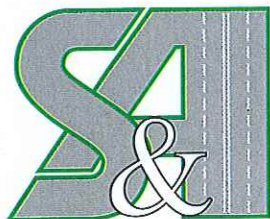
speciale
PAVIMENTAZIONI

n° 78 • anno XIII

6 Novembre/Dicembre
2009

AUTOSTRAD

COSTRUZIONE e MANUTENZIONE di STRADE • AUTOSTRAD • PONTI • GALLERIE



Via Egnatia: via libera

Conglomerato di recupero nelle miscele stabilizzate

Il primo lotto della Catania-Siracusa

Le opere di scavalco sulla AV Torino-Milano

L'argilla espansa nell'asfalto

Tecnologia ad alto modulo per il Passante di Mestre

Silvano Marin



"L'uomo che ha avuto una vita... salata"

Pavimentazioni in cls fibrorinforzato

La sicurezza stradale e gli utenti anziani

La progettazione di muri di sostegno in gabbioni

Direttiva 2008/96/CE: nuovo approccio alla sicurezza stradale

Acquisto agevolato per le macchine da cantiere

Er-Lem
Srl

Milano

AMMANN
SJM
S.p.A.



SOCIETÀ ITALIANA MACCHINE
IMPIANTI PER CONGLOMERATI BITUMINOSI

www.simammann.it



Lo studio di un approccio integrato basato su un'analisi multi-criterio, finalizzato alla valutazione della vulnerabilità di un'infrastruttura viaria

Ambiente & Territorio

UN NUOVO MODELLO PER LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ DI UN'INFRASTRUTTURA VIARIA RISPETTO AL RISCHIO DI ALLUVIONE

Andrea Benedetto*

Alessandra Chiavari**

Gualtiero Bellomo***

Nel nostro Paese le problematiche connesse alla gestione e alla prevenzione del rischio stanno sempre più assumendo un ruolo prioritario anche alla luce di conseguenze sempre più infauste degli eventi. In particolare, il nostro territorio è sempre stato esposto al rischio di alluvione, i cui effetti sono più gravi oggi anche in ragione del forte sviluppo infrastrutturale e urbanistico in genere, che tende a occupare spazi sempre più prossimi alle pertinenze fluviali.

Il presente lavoro, prescindendo dalle analisi raffinate che possono essere oggi effettuate attraverso elaborati codici di calcolo ma che hanno lo svantaggio di risultare inapplicabili alla scala dell'itinerario e della rete stradale a causa dell'elevatissimo numero di interferenze da modellare, presenta un approccio integrato basato su analisi multi-criterio, finalizzato alla valutazione della vulnerabilità di un'infrastruttura viaria.

Il modello ha nel metodo di calibrazione il suo punto di forza e con esso introduce una prospettiva innovativa, la quale consente di superare i tradizionali limiti di soggettività intrinseci nelle più frequenti applicazioni multicriteriali.

L'applicazione del metodo allo studio di caso proposto nel lavoro consente di mettere in evidenza le grandi potenzialità del modello che, attraverso la sua applicazione, permette sia di stimare la vulnerabilità e realizzare mappe di rischio sia di isolare gli elementi maggiormente vulnerabili identificando le cause di vulnerabilità e, conseguentemente, gli interventi necessari per la messa in sicurezza.

Lo studio dimostra anche come il metodo proposto risulti di utile e agevole applicazione specialmente nella pianificazione delle fasi dell'emergenza e per l'individuazione degli interventi di messa in sicurezza di un itinerario o di una rete stradale. Invece, non può costituire una soluzione per la determinazione di dettaglio delle azioni progettuali sui singoli manufatti poiché risulta operativo a scale spaziotemporali non sufficientemente dettagliate.



Figura 1 - Un esempio di una drammatica conseguenza di un'alluvione sul sistema viario

Il problema delle interferenze tra infrastrutture lineari di trasporto e sistemi idraulici di superficie è sempre più rilevante a causa sia della crescente densità delle reti, sia dell'aumento dei flussi di persone e merci - che è fulcro di sviluppo economico e sociale - sia di un recente cambiamento delle condizioni climatiche che sembrano esporre il nostro Paese con maggiore frequenza a eventi meteorologici caratteristici di eccezionalità.

Non raramente tale problematica è all'origine di avvenimenti particolarmente critici in relazione alla sicurezza dell'esercizio viario, ovvero alla stabilità dei manufatti stradali e ferroviari.

Per ciò che concerne le nuove realizzazioni la questione può essere affrontata assai più opportunamente in fase di pianificazione e successivamente di progettazione.

A livello di pianificazione, in Italia esiste una coscienza tecnica e amministrativa consolidata ormai da oltre vent'anni, ovvero da quando è stata adottata la prima Norma significativa sulla difesa del suolo (L183/89). Nel merito esiste una Letteratura così ampia che nulla va le la pena di aggiungere. Ricordo esclusivamente come quella leg-



istituiti le Autorità di Bacino, competenti e responsabili della pianificazione del territorio e delle acque interne al bacino idrografico fisicamente delimitato da lunghi processi naturali, introdusse il Piano di Bacino, quale strumento di indirizzo e governo del territorio del bacino stesso e, non da ultimo, per rilevanza tecnico amministrativa sovraordinò questo strumento a tutti gli altri strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica. Negli anni l'esperienza fatta e le conoscenze maturate, nonché altri fattori connessi con le politiche di governo del Paese, hanno portato a un'evoluzione degli strumenti tecnici e delle Norme di riferimento, pur conservando il principio di tutela dei sistemi idrografici attraverso la gestione pianificata delle interferenze con le nuove realizzazioni tra le quali, più delle altre, le infrastrutture lineari di trasporto, che necessariamente intersecano corsi d'acqua, incisioni e, genericamente, sistemi idraulici di superficie.

A livello di progetto, la prevenzione e la mitigazione delle interferenze tra opera e ambiente idrico superficiale e sotterraneo è gestita perlopiù nella fase di Valutazione di Impatto Ambientale. Come è ben noto anche in questo caso, la VIA prevede - in parallelo all'elaborazione del progetto d'ingegneria dell'infrastruttura - l'analisi delle relazioni con le componenti ambientali, lo studio di tutte le alternative possibili per ridurre gli impatti negativi sino alla determinazione della scelta ottima.

Diverso è ovviamente il caso di interferenza tra opere esistenti e sistemi idraulici di superficie. Questo caso ricade evidentemente nel dominio della protezione civile, della sicurezza preventiva di persone e cose ovvero della gestione dell'emergenza.

Il presente lavoro, partendo dall'evidenza che il nostro Paese in molte sue regioni risulta fortemente esposto al rischio di alluvione, propone un metodo innovativo per la ricognizione preliminare e la definizione dei piani di protezione civile con riferimento al rischio di allagamento o di instabilità delle infrastrutture stradali. Il metodo e le procedure sono analogamente applicabili anche per le infrastrutture ferroviarie.

La vulnerabilità di un'infrastruttura viaria rispetto al rischio di esondazione

Come ben noto, per la valutazione del rischio R si fa riferimento alla relazione:

$$R = P \cdot V \cdot E$$

dove le tre grandezze che concorrono a definire il rischio sono:

P = la pericolosità, ovvero la probabilità di accadimento dell'evento di una certa intensità, in un'area delimitata e in un determinato tempo;
 V = la vulnerabilità, intesa come la propensione di un elemento o di un sistema a subire danni a seguito di un determinato evento;

E = l'esposizione, ovvero l'estensione, la numerosità e la qualità dei sistemi che possono subire danni. Spesso in Letteratura il prodotto della vulnerabilità per l'esposizione è denominato gravità dell'evento.

La quantificazione di queste grandezze, e più in generale del rischio, segue metodologie diverse a seconda dell'evento di rischio e del target analizzato. Nel caso in cui l'evento di rischio sia l'esondazione di un fiume e le infrastrutture di trasporto rappresentino il target, la definizione della pericolosità e dell'esposizione segue metodi oggettivi: in particolare la pericolosità è funzione dei tempi di ritorno dei tiranti idrici e, conseguentemente, delle aree allagate, mentre l'esposizione è riconducibile ai flussi di traffico. La prima determinabile attraverso modelli idrologici ed idraulici, la seconda attraverso analisi trasportistiche.

Per ciò che attiene la vulnerabilità, data la complessità dei fattori che la determinano, la stima su base quantitativa richiede o modelli di calcolo assai complessi e raffinati con oneri computazionali molto ele-

vati, ovvero forti semplificazioni che troppo spesso introducono una componente soggettiva. In effetti, oggi sono disponibili strumenti di calcolo e modelli capaci di schematizzare e di simulare sia i processi idraulici sia i geomeccanici e gli strutturali in tutta la loro complessità; ciò però richiede l'implementazione di griglie di calcolo molto dettagliate e di gestione assai onerosa, lunghi tempi di esecuzione per ogni singolo scenario e, conseguentemente, un'impraticabilità alla scala della pianificazione di un itinerario stradale esteso. Viceversa, questo approccio risulta assai utile e affidabile nel caso di una verifica di un singolo elemento o di pochissimi casi localizzati.

E' quindi utile mettere a punto per le infrastrutture viarie un nuovo metodo di valutazione della vulnerabilità che consenta di perseguire obiettivi di reale praticabilità e oggettività delle valutazioni.

Sotto il profilo metodologico, è possibile ricondurre la quasi totalità dei metodi utilizzati per la costruzione delle curve di vulnerabilità a due specifici casi:

- ◆ si quantificano i danni analiticamente schematizzando la risposta strutturale di ciascun elemento alle sollecitazioni derivanti dall'evento rischioso, quindi si prevedono i danni al variare dell'intensità della specifica forzante;
- ◆ si identificano una serie di parametri di vulnerabilità del sistema concettualmente determinabili sulla base delle caratteristiche tipologiche, geometriche, costitutive e strutturali dell'infrastruttura.

Il modello proposto si pone a metà tra i due approcci: la vulnerabilità è definita per ciascun elemento del sistema individuando una serie di parametri di vulnerabilità che tiene conto di tutte le dinamiche di collasso che minano la stabilità strutturale e la funzionalità dell'elemento, ma prescinde da una ricostruzione dettagliata della risposta strutturale dell'elemento stesso.

Considerando la vulnerabilità V , che è la grandezza che all'interno della valutazione del rischio tiene conto dell'attitudine di un target a subire danni in seguito all'evento pericoloso, a livello di itinerario è preliminarmente importante osservare che l'infrastruttura viaria è costituita da una successione di elementi tipologici diversi (trincee, rilevati, tratti in viadotto, in galleria e a raso) e le problematiche per ciascun elemento sono molteplici e possono verificarsi con gravità diverse in una copiosa serie di combinazioni. Essendo inoltre l'infrastruttura viaria un sistema a rete la vulnerabilità globale dipende sia dalla vulnerabilità dei singoli elementi, sia dalle interrelazioni (strutturali e funzionali) che tra essi sussistono.

Il modello che qui si propone per la valutazione della vulnerabilità tiene conto dell'eterogeneità del target e della molteplicità delle problematiche che interessano i singoli elementi, in un quadro il più possibile oggettivo e consistente.

Nelle valutazioni di rischio la vulnerabilità può essere correttamente definita a partire dal danno che si presume possa essere subito (ex ante) o sia stato realmente subito (ex post) dall'infrastruttura, valutando quantitativamente le risorse perse in seguito a un evento rischioso.

Più specificamente il danno può essere identificato con la perdita delle capacità funzionali di un sistema o di parte di esso oppure con il costo (o tempo) delle operazioni necessarie per riportare il sistema danneggiato alla situazione originaria.

In generale, poiché il danno (D) oltre a dipendere dalla vulnerabilità dipende dalla pericolosità di un evento, per definire la vulnerabilità (V) si stabilisce una corrispondenza biunivoca tra pericolosità e danno, definita curva di vulnerabilità: $D = V(P)$.

Più nel dettaglio, quando si verifica un fenomeno di esondazione i danni per l'infrastruttura di trasporto possono provenire sia da un contat-



to diretto dell'infrastruttura con il corso d'acqua in piena (ad esempio l'erosione delle opere di sostegno dell'impalcato di un ponte collocate in alveo o il sormonto dello stesso) che da fenomeni connessi o concomitanti (innescio di fenomeni gravitativi o fenomeni di insufficienza idraulica). In generale questi rischi possono comportare:

- ◆ danni strutturali alle opere (erosione dei rilevati, collasso delle pile e delle spalle dei viadotti, frane lungo le scarpate delle trincee, crolli agli imbocchi di gallerie);
- ◆ conseguenze sull'esercizio viario (riduzione dell'aderenza disponibile, aquaplaning, collasso della pavimentazione).

Il modello proposto per la valutazione della vulnerabilità

Il modello proposto ha l'obiettivo di fornire una misura quantitativa della vulnerabilità di un itinerario stradale rispetto al rischio di alluvione. Esso valuta la vulnerabilità dell'itinerario come la integrazione delle vulnerabilità di ogni singolo elemento strutturale costituente la strada. In particolare, semplificando lo schema di riferimento, vengono trattati separatamente i casi di opera in viadotto, in rilevato, in trincea o a raso.

Sono escluse in questa fase le gallerie ritenendo tale tipologia infrequente laddove concorra un rischio di alluvione.

Parametri	Pesi
V1 Coefficiente di ingombro α	γ_{V1} 6,629
V3 Angolo d'inclinazione β delle pile rispetto alla direzione della corrente	γ_{V3} 5,765
V6 Rapporto V_0/V_{cr} tra la velocità della corrente indisturbata V_0 e la velocità critica di sollevamento delle particelle del fondo V_{cr}	γ_{V6} 32,710
V8 Posizione delle pile e delle spalle rispetto all'alveo	γ_{V8} 5,468
V9 Posizione dei rilevati di accesso rispetto alla piana inondabile	γ_{V9} 6,863
V11 Ubicazione del ponte rispetto all'andamento del fiume	γ_{V11} 8,139
V12 Elementi di protezione del piede dei rilevati di accesso	γ_{V12} 3,779
V13 Percentuale dello sviluppo complessivo dell'elemento interessato dalla piena di progetto S_i	γ_{V13} 13,307

Tabella 1A

Parametri	Pesi
R1 Presenza di moti filtranti all'interno del rilevato	γ_{R1} 18,390
R2 Pendenza delle scarpate	γ_{R2} 15,164
R3 Protezione delle scarpate	γ_{R3} 11,681
R4 Presenza e tipologia della vegetazione	γ_{R4} 2,656
R5 Rapporto V_0/V_{cr} tra la velocità della corrente indisturbata V_0 e la velocità critica di sollevamento delle particelle al piede dei rilevati V_{cr}	γ_{R5} 28,049
R8 Pendenza trasversale della piattaforma stradale i_i	γ_{R8} 12,427
R10 Stato della pavimentazione	γ_{R10} 1,721

Tabella 1B

Tabella 1A, B, C e D - I parametri di vulnerabilità nelle situazioni di opera in viadotto: A) rilevato; B) trincea; C) opera a raso; D) con relativi pesi calcolati a valle della calibrazione

Parametri	Pesi
T2 Stabilità meccanica delle scarpate	γ_{T2} 1,362
T3 Presenza e tipologia della vegetazione	γ_{T3} 0,615
T4 Pericolosità di frana	γ_{T4} 42,618
T5 Pendenza longitudinale della livelletta i_i	γ_{T5} 1,302
T6 Pendenza trasversale della piattaforma stradale i_i	γ_{T6} 31,983
T7 Presenza e tipologia dei presidi idraulici	γ_{T7} 6,920

Tabella 1C

Parametri	Pesi
A1 Pendenza longitudinale della livelletta i_i	γ_{A1} 0,861
A2 Pendenza trasversale della piattaforma stradale i_i	γ_{A2} 11,761
A4 Stato della pavimentazione	γ_{A4} 2,838
A5 Pericolosità di frana	γ_{A5} 14,659
A6 Rapporto V_0/V_{cr} tra la velocità della corrente indisturbata V_0 e la velocità critica di sollevamento delle particelle al piede dei rilevati V_{cr}	γ_{A6} 33,152

Tabella 1D

Numericamente la vulnerabilità V è qui intesa come una variabile continua che assume valori compresi tra 0 e 100. Ai valori estremi corrispondono condizioni attese post-evento del target rispettivamente di "funzionalità completa" ($V = 0$) ovvero completo "collasso" ($V = 100$). La vulnerabilità di un singolo elemento costituente la via, sia esso viadotto o altro, è calcolata attraverso un processo multicriterio lineare. Quindi la vulnerabilità del generico elemento j sarà pari alla sommatoria dei valori assunti dagli N parametri di vulnerabilità p_i , ciascuno pesato attraverso un coefficiente γ_i che esprime la rilevanza relativa di ogni singolo parametro rispetto agli altri. Quindi la vulnerabilità del generico elemento j sarà data dalla seguente relazione:

$$V^j = \sum_{i=1, N} \gamma_i^j p_i^j$$

Il generico parametro di vulnerabilità p_i viene in questa fase definito come una variabile discreta che può assumere tre valori distinti e in particolare il valore 0, nel caso in cui il parametro, con riferimento alla specifica situazione viaria, risulti definire una condizione non vulnerabile al rischio, il valore 1 se la vulnerabilità è da considerare moderata e il valore 2 se è da considerare elevata. Questo approccio a tre parametri facilita molto l'applicazione del modello e di fatto evita incertezze nell'assegnazione di un valore quantitativo, che invece emergerebbe ad adottando una metrica di giudizio più dettagliata.

La vulnerabilità complessiva di itinerario o di rete è valutata integrando su tutti gli M elementi che costituiscono la rete o l'itinerario secondo la seguente relazione:

$$V = \sum_{j=1, M} \sum_{i=1, N} \gamma_i^j p_i^j = \sum_{j=1, M} V^j$$

Nella scelta dei parametri si è tenuto conto della complessità del fenomeno di esondazione individuando parametri relativi non solo all'aspetto idraulico ma anche geotecnico, strutturale e funzionale; in questo modo non sono stati trascurati i fenomeni gravitativi e di insufficienza idraulica che si verificano in concomitanza con l'evento di esondazione. Ovviamente, considerata l'eterogeneità e la diversa risposta dei vari elementi costituenti l'infrastruttura, si è messa a punto una serie di parametri specifici per ognuno di tali elementi (viadotto, rilevato, trincea e tratti a raso) e ugualmente significativa ai fini della valutazione complessiva dell'infrastruttura.

Come in ogni modello multi criterio evidentemente il punto cruciale consiste nell'assegnazione dei valori al set dei pesi γ_i . Infatti la procedura più frequentemen-

to



te seguita, fondata essenzialmente su una assegnazione in base all'esperienza di chi utilizza il modello, risulta assai soggettiva e, in casi analoghi, ha prodotto molto spesso risultati distorti. Nel presente lavoro si propone una calibrazione dei pesi, di cui si discuterà nel successivo paragrafo, basata su metodo di calcolo ed assegnazione oggettivo.

Nelle Tabelle 1A, 1B, 1C e 1D sono indicati i parametri risultati significativi a valle della calibrazione del modello e i valori assunti dai pesi dopo la fase di calibrazione per ciascun parametro e in relazione ai viadotti, ai rilevati, alle trincee e ai tratti a raso.

La calibrazione del modello

Al fine di garantire la massima oggettività nella procedura di stima del valore dei pesi γ_i si è adottato un metodo basato sull'osservazione di eventi realmente accaduti considerando l'ipotesi di lavoro secondo cui, nel caso di evento alluvionale, l'entità del danneggiamento degli elementi di un itinerario stradale è funzione crescente della vulnerabilità dell'elemento. In altri termini, si vuole affermare un principio di massima verosimiglianza per cui, a parità di pericolosità, il danno che si osserva dopo un evento critico è accaduto in virtù del fatto che, in corrispondenza delle opere danneggiate e in funzione del livello di danneggiamento, si aveva verosimilmente un elevato livello di vulnerabilità, tanto più elevato quanto maggiore risulta l'entità del danno stesso.

A fronte di tale ipotesi, osservando i danni post-evento è possibile associare a ciascun elemento di un'infrastruttura un valore di vulnerabilità V^i che quantifica, in una scala relativa, la vulnerabilità del singolo elemento rispetto agli altri. In corrispondenza di uno specifico elemento, sulla base di una ricognizione in sito o a fronte di una analisi del progetto dell'infrastruttura, è anche possibile determinare i valori assunti da ciascun parametro p_i . Seguendo tale principio è quindi possibile scrivere M equazioni, ovvero tante equazioni quanti sono gli elementi esaminati appartenenti all'infrastruttura, in N incognite, essendo N il numero totale dei parametri di vulnerabilità. Tali incognite corrispondono ai pesi γ_i .

$$\begin{cases} \gamma_1^1 p_1^{1*} + \gamma_2^1 p_2^{1*} + \gamma_3^1 p_3^{1*} + \dots + \gamma_N^1 p_N^{1*} = V^{1*} \\ \gamma_1^2 p_1^{2*} + \gamma_2^2 p_2^{2*} + \gamma_3^2 p_3^{2*} + \dots + \gamma_N^2 p_N^{2*} = V^{2*} \\ \dots \\ \dots \\ \gamma_1^M p_1^{M*} + \gamma_2^M p_2^{M*} + \gamma_3^M p_3^{M*} + \dots + \gamma_N^M p_N^{M*} = V^{M*} \end{cases}$$

E' evidente che in tale sistema lineare in genere N è diverso da M ed è ragionevole attendersi che M sia superiore a N, ovvero che il numero delle equazioni ecceda il numero delle incognite. Ciò significa che il sistema non ha in genere soluzione, ma è possibile individuare un set di parametri che renda minima la norma degli scarti.

In particolare, si è adottata la seguente misura della bontà dell'adattamento della regressione multilineare:

$$\rho^2 = \frac{\sum_{i=1,N} (V_i^{j*} - m_V)^2 - \sum_{i=1,N} (V_i^{j*} - V_i^T)^2}{\sum_{i=1,N} (V_i^{j*} - m_V)^2}$$

dove:

V_i^T = la vulnerabilità "reale" il cui valore è assegnato in base ai danni riportati;

V^T = la vulnerabilità ottenuta dal modello;

m_V = la vulnerabilità ottenuta da un modello nullo (ovvero da un modello non in grado di interpretare il fenomeno).

In particolare, ρ^2 misura la frazione della variabilità delle osservazioni che si può spiegare tramite il modello lineare.

Per la calibrazione del modello sono stati presi in considerazione elementi di infrastrutture viarie diversamente danneggiati nel corso di quattro eventi alluvionali:

- ◆ evento alluvionale dei giorni 10-14 Giugno 2000, Piemonte;
- ◆ evento alluvionale dei giorni 13-15 Ottobre 2000, Piemonte;
- ◆ evento alluvionale dei giorni 22-25 Settembre 1993, Piemonte;
- ◆ evento alluvionale dei giorni dal 28 al 30 Maggio 2008, Piemonte e Valle d'Aosta.

In tutto, per le diverse tipologie sono stati analizzati 68 viadotti, 50 rilevati, 36 trincee, 29 tratti a raso. Per questi elementi sono disponibili le informazioni necessarie inerenti le caratteristiche dell'opera, del corso d'acqua e le condizioni al contorno. A partire da tali informazioni sono stati preliminarmente stimati i valori dei parametri p_i .

L'esito del processo di soluzione dei quattro sistemi lineari costituiti dal seguente numero di incognite e di equazioni (Tabella 2) ha portato a un risultato sintetizzato dai valori dei pesi γ_i come indicati nelle Tabelle 1A, B, C e D.

Elemento	M (numero di equazioni)	N (numero di incognite)
Viadotto	68	16
Rilevato	50	10
Trincea	36	9
Raso	29	6

Tabella 2 - Il numero delle equazioni e delle incognite nei sistemi lineari utilizzati per la calibrazione

Uno studio di caso

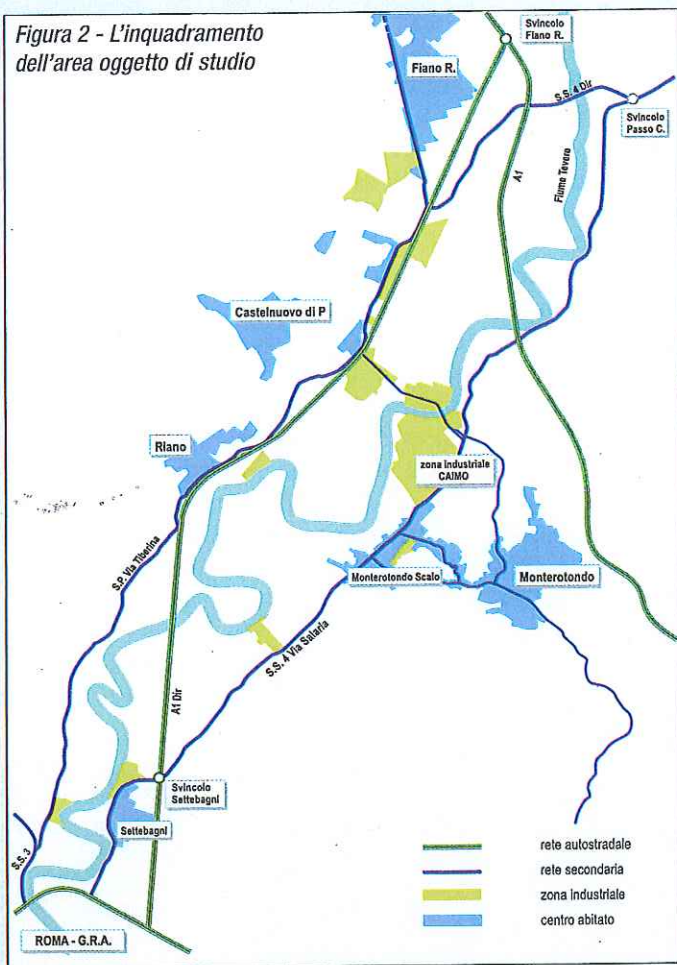
Al fine di verificare l'applicabilità del modello in termini di efficacia e di efficienza, si è individuata un'ampia area di interesse strategico soggetta al rischio di esondazione, in cui trova spazio una rete infrastrutturale di interesse nazionale e dove sono dislocati alcuni centri abitati nonché una zona industriale e di servizi, in cui si localizzano - come si accennerà - situazioni di prioritaria importanza. L'area relativa allo studio di caso è situata a Nord di Roma nella valle del Tevere. Prima di entrare nella città di Roma, il fiume Tevere attraversa una vasta piana che ha la capacità di laminare le acque di piena riducendo l'entità dei colmi a Roma e contribuendo a garantire così la città dal rischio di esondazione. Quest'invaso naturale è attraversato da un rete viaria connotata dal sistema delle grandi direttrici di comunicazione che si sviluppano parallelamente al fiume Tevere, cui si aggiungono poche arterie trasversali.

Lungo la direttrice Nord-Sud le principali infrastrutture presenti sono l'Autostrada A1, la Via Salaria, la Via Flaminia, la linea ferroviaria ad Alta Velocità Roma-Firenze, mentre trasversalmente completano la rete il Grande Raccordo Anulare, il raccordo autostradale Fiano-San Cesario e alcune viabilità secondarie tra cui la Traversa del Grillo, unica tra queste che consente l'attraversamento del fiume Tevere (Figura 2). Nell'area si localizzano anche il centro abitato di Monterotondo Scalo, una zona industriale, produttiva e commerciale di rilevante importanza e il Centro Nazionale Polifunzionale del Dipartimento della Protezione Civile.

Ai fini della valutazione della vulnerabilità degli itinerari per l'analisi del rischio e quindi per la redazione di un piano di protezione civile, si è applicato il modello proposto così come calibrato sulla base degli eventi reali esaminati attraverso i rapporti di danno.



Figura 2 - L'inquadramento dell'area oggetto di studio



L'evento di piena considerato in questa analisi ha un tempo di ritorno di 200 anni. Più specificamente, sulla base di una ricostruzione nelle sezioni idrauliche di interesse dell'evento duecentennale - il cui idrogramma di piena alla stazione di Roma Ripetta, così come riportato dall'Autorità di Bacino del Tevere, è rappresentato in Figura 3 - sono state calcolate le aree allagate attraverso l'applicazione di un modello idraulico (Dipartimento di Scienze dell'Ingegneria Civile, 2006, citato in Bibliografia). Nel presente lavoro per la valutazione della pericolosità si è fatto riferimento a questi dati. Ovviamente l'attraversamento del Tevere rappresenta un nodo fondamentale per garantire la continuità del servizio della rete stradale in seguito all'evento, sia per la gestione dell'evacuazione, sia per l'accesso dei soccorsi.

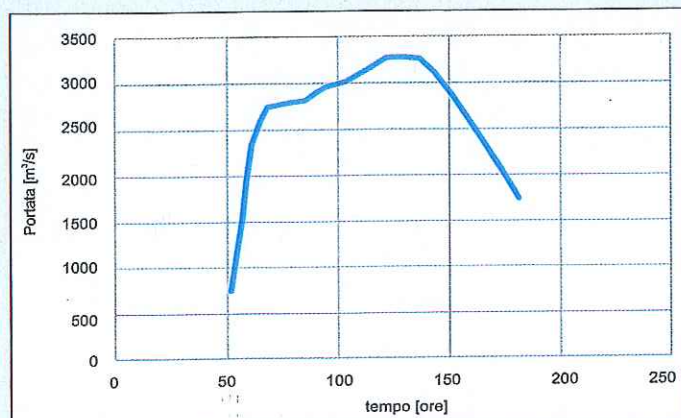


Figura 3 - L'idrogramma di piena duecentennale alla stazione di Roma Ripetta estratto dall'ABT

E' quindi di particolare interesse soprattutto l'esito delle valutazioni modellistiche in riferimento ai cinque viadotti presenti nell'area. Le risultanze complessive del modello in termini di vulnerabilità della rete stradale sono sintetizzate nella mappa in Figura 4.

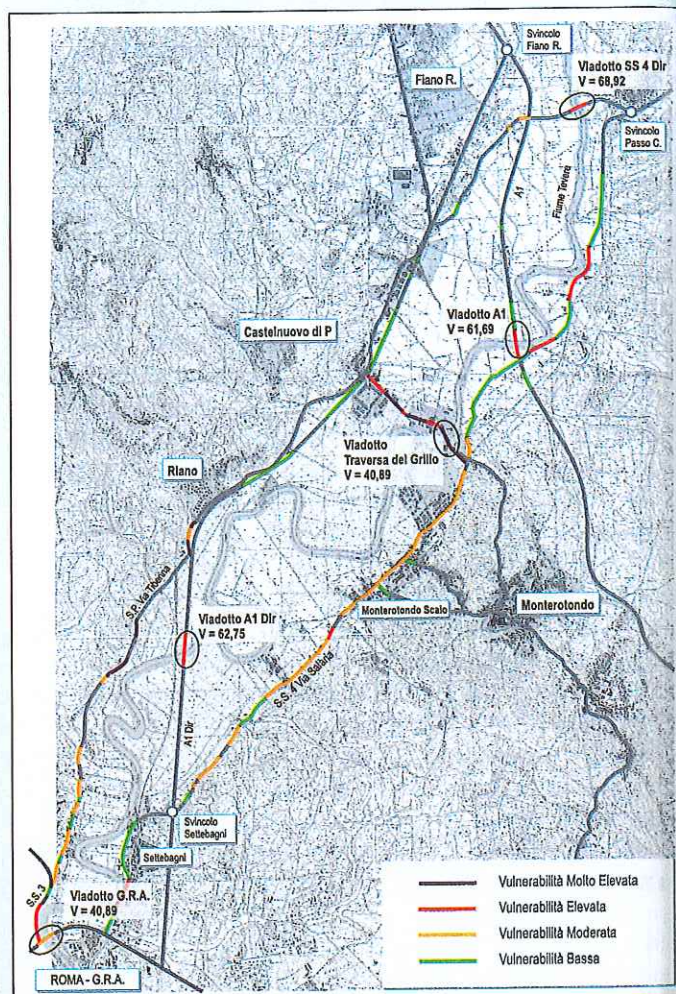


Figura 4 - La mappa della vulnerabilità della rete stradale

Per quanto attiene la valutazione dell'esposizione si è ritenuto in questa fase di definire preliminarmente cinque scenari di riferimento ricondotti poi a tre significativi: uno relativo ai giorni feriali, uno ai giorni festivi e un caso peggiore (worst case).

In sintesi la Tabella 3 descrive i livelli di servizio di ciascun arco con riferimento ai tre scenari di esposizione assunti.

L'analisi di vulnerabilità ha evidenziato l'elevato rischio rispetto alla possibilità di garantire il collegamento tra le due sponde del Tevere in caso di evento critico, mancando, ad oggi, un attraversamento sufficientemente non vulnerabile rispetto all'evento di piena.

Grazie ai risultati forniti dal modello, è altresì possibile individuare i fattori di vulnerabilità di ciascun viadotto (Tabella 4) e, a fronte di questi, proporre degli interventi finalizzati a eliminarli o a attenuarli. Gli interventi per i cinque viadotti analizzati sono stati raccolti in altrettante schede di intervento, di cui a titolo esemplificativo ne è riportata una in Figura 5. Nelle schede, insieme alla localizzazione del tratto a rischio, vengono riportati la classe di rischio e di vulnerabilità, i fattori di vulnerabilità e una breve descrizione degli interventi individuati.

Infine, integrando i valori ottenuti per la vulnerabilità e l'esposizione con le cartografie di pericolosità si è ricavata la mappa del rischio per la rete stradale nell'area di studio, riportata in Figura 6.



Archi	LoS lavorativi	LoS feriali	LoS Worst case
a1: S.P. 15a Via Tiberina, Traversa del Grillo-Svincolo Fiano	D	C	D
a2: S.P. 15a Via Tiberina, GRA-Traversa del Grillo	D	B	D
a3: S.S. 4 Salaria, Traversa del Grillo-Svincolo Passo Corese	F	C	F
a4: S.S. 4 Salaria, S.P. 22a Nomentana-raversa del Grillo	F	C	F
a5: S.S. 4 Salaria, S.P. Monti Sabini-S.P. 22a Nomentana	F	B	F
a6: S.S. 4 Salaria, Svincolo Settebagni-S.P. Monti Sabini	F	B	F
a7: S.S. 4 Salaria, G.R.A.-Svincolo Settebagni	F	C	F
a8: S.S. 4 dir, Svincolo Fiano-Svincolo Passo Corese	C	D	C
a9: S.P. 18a Traversa del Grillo	D	C	D
a10: Tangenziale Nomentana-San Martino	C	A	C
a11: S.P. 25b San Martino	D	B	D
a12: S.P. 22a Nomentana, S.S. 4-Monterotondo	C	B	C
a13: S.P. 22a Nomentana, Monterotondo-tangenziale	D	B	D
a14: S.P. Monti Sabini	B	A	B
a15: S.P. 22a Nomentana, Monterotondo-G.R.A.	F	D	F
a16: S.S. 3 Via Flaminia	E	C	E
a17: A1dir, Svincolo Fiano Romano-Svincolo Settebagni	A	D	C
a18: A1dir, Svincolo Settebagni-Svincolo G.R.A.	A	D	C
a19: A1, Svincolo Fiano Romano-Svincolo E80	A	D	C

Tabella 3 - La valutazione dell'esposizione su ciascun arco della rete attraverso il livello di servizio

Conclusioni

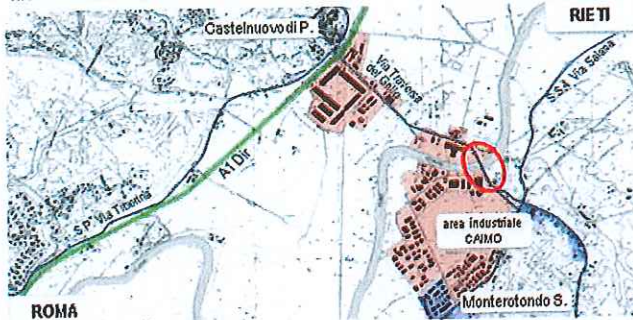
Il modello proposto per la quantificazione della vulnerabilità delle infrastrutture viarie rispetto al rischio d'inondazione restituisce un valore della grandezza attraverso un'analisi multicriterio la cui valenza oggettiva è affidata a una calibrazione dei pesi basata sull'analisi dei rapporti di danno elaborati a seguito di eventi calamitosi. Il modello tiene conto della forte eterogeneità strutturale e tipologica che caratterizza un'infrastruttura lineare.

Viadotto	V	Fattori di Vulnerabilità
G.R.A.	41	Restringimento della sezione di deflusso; pile e spalle localizzate entro l'alveo di piena; fenomeni erosivi di moderata intensità alla base di pile e spalle; ubicazione del ponte in corrispondenza di un'ansa
A1 Dir	63	Restringimento della sezione di deflusso; fenomeni erosivi di elevata intensità alla base di pile e spalle; ubicazione del ponte in corrispondenza di un'ansa
S.P. 18 Traversa del Grillo	80	Fenomeni erosivi di elevata intensità alla base di pile e spalle e dei rilevati di accesso; ubicazione del ponte in corrispondenza di una ansa; restringimento della sezione di deflusso; inclinazione delle pile rispetto alla direzione della corrente; pile e spalle localizzate entro l'alveo di magra; rilevati di accesso entro la piana inondabile
A1	62	Restringimento della sezione di deflusso; fenomeni erosivi di elevata intensità alla base di pile e spalle
S.S. 4 Dir	69	Fenomeni erosivi di elevata intensità alla base di pile e spalle e dei rilevati di accesso; restringimento della sezione di deflusso; rilevati di accesso entro la piana inondabile

Tabella 4 - I fattori di vulnerabilità emersi dall'analisi attraverso il modello proposto

A livello metodologico il modello proposto sembra soddisfare le esigenze richieste per una adeguata pianificazione dell'emergenza e degli interventi atti a prevenire e mitigare le conseguenze infauste di un evento, d'altra parte, a livello operativo, il modello necessiterà di raffinamenti della calibrazione attraverso un ampliamento delle serie storiche di danno sinora esaminate. Infatti più è significativa e rappresentativa la serie storica dei danni esaminata che entra nel calcolo dei pesi del modello, dando ragione anche di situazioni molto diverse in termini di geometrie, materiali e particolari costruttivi, maggiore risulterà l'affidabilità del modello nelle fasi applicative.

Localizzazione:



Categoria strada: C2
Flusso di traffico: 975 veich/h
N. Pile in alveo: 3
Inclinazione pile: 15°



Livello di rischio:

Molto Elevato

Classe di vulnerabilità:

Molto Elevata

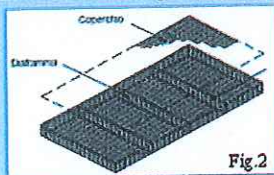
$V = 80,29$

Fattori di vulnerabilità:

Restringimento della sezione provocato dalle opere di sostegno dell'impalcato del ponte

Inclinazione delle pile rispetto alla direzione della corrente

Tendenza a subire fenomeni di erosione localizzata a pile, spalle e al piede dei rilevati di accesso



Ubicazione del ponte in corrispondenza di un'ansa

Interventi:

Aumento della luce del ponte attraverso la realizzazione di fornicelli nei rilevati di accesso

Opere di sponda longitudinali o trasversali (pennelli)

- Rivestimento di tipo flessibile dell'intero fondo dell'alveo o nell'intorno delle fondazioni da proteggere (Fig.2)
- Soglia di fondo a valle delle opere di sostegno del ponte
- Consolidamento delle fondazioni delle pile e delle spalle
- Deflettori del flusso o rastremazioni sul lato di monte della pila

- Elementi di protezione dei rilevati di accesso
- Elementi per allontanamento della corrente dai ril. accesso

Interventi di Mitigazione del rischio di Esondazione del fiume Tevere sulla Rete Viaria - Scheda 12

Figura 5 - La scheda tipologica di intervento sul viadotto di attraversamento del fiume Tevere - S.P. 18a Via Traversa del Grillo km 2+300

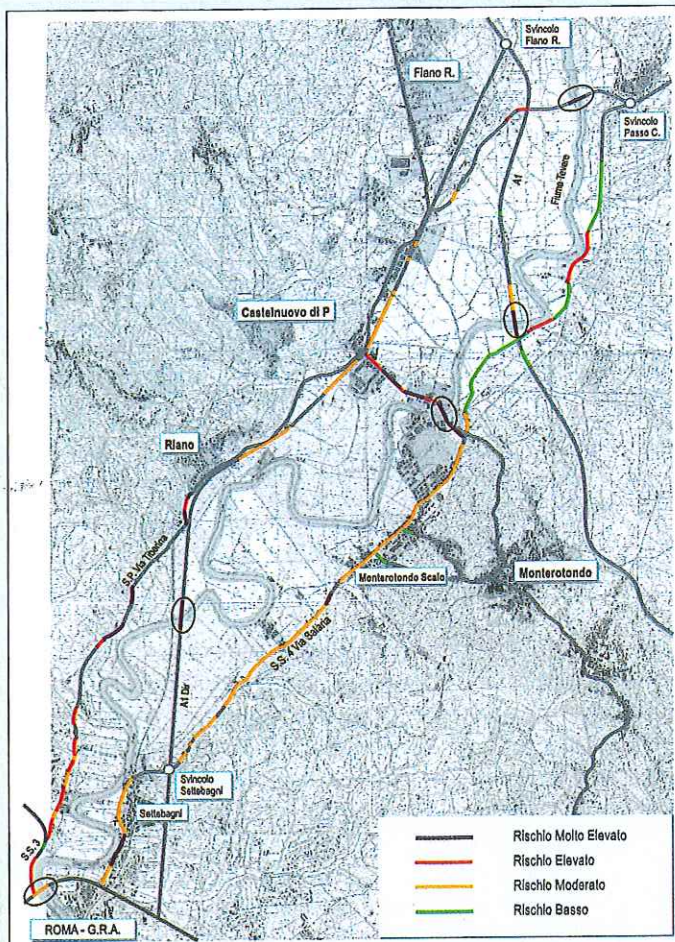


Figura 6 - La mappa del rischio relativa alla rete stradale nell'area di studio

In ogni caso, già nella fase attuale il modello, così come è stato calibrato, alla luce dell'esperienza di esperti del settore, fornisce esiti assolutamente ragionevoli e consistenti, tali da spiegare la criticità di numerose situazioni che non immediatamente sarebbe possibile intuire sulla base delle usuali ricognizioni di area vasta. Purtroppo ad oggi, solo in alcuni casi sono disponibili rapporti esaustivi sui danni alle infrastrutture causati dalle inondazioni; molto spesso le informazioni relative ai danni sulla rete di trasporto sono poco dettagliate o addirittura assenti. Inoltre il modello individua i fattori specifici di vulnerabilità per ogni elemento che costituisce l'infrastruttura (viadotto, rilevato, trincea, tratti a raso) pur prescindendo da una ricostruzione dettagliata delle dinamiche di collasso; questo fa sì che il modello, nelle fasi di pianificazione dell'emergenza e come strumento di protezione civile, rappresenti un utile riferimento per l'individuazione degli interventi sulla rete finalizzati alla riduzione del rischio e risulti anche di facile applicazione. ■

* Dipartimento di Scienze dell'Ingegneria Civile

** Libero Professionista

*** Commissione Nazionale per le Valutazioni di Impatto Ambientale

Ringraziamenti

Gli Autori desiderano ringraziare per il supporto fornito nella ricerca dei dati e per gli utili confronti sul tema l'ingegner Salvatore Cocina, Dirigente Generale Dipartimento Protezione Civile Siciliana e l'Ing. Paola Pagliara del Dipartimento Nazionale della Protezione Civile.

BIBLIOGRAFIA

- [1]. Autorità di Bacino del fiume Po - "Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico", Deliberazione del Comitato Istituzionale n° 18 del 26 Aprile 2001, pubblicato sulla GU n° 183 dell'8 Agosto 2001.
- [2]. Autorità di Bacino del fiume Po - "Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Allegato 1: Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici", Deliberazione del Comitato Istituzionale n° 1, 11 Maggio 1999.
- [3]. Autorità di Bacino del fiume Po - "Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico", Deliberazione del Comitato Istituzionale n° 18 del 26 Aprile 2001, pubblicato sulla GU n° 183 dell'8 Agosto 2001.
- [4]. Arpa Piemonte, Direzione Servizi Tecnici di Prevenzione - "Eventi alluvionali in Piemonte 10-14 Giugno 2000", Torino, 2000.
- [5]. Arpa Piemonte - "Evento alluvionale regionale del 13-16 Ottobre 2000", Torino, 2003.
- [6]. Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico - "Eventi alluvionali in Piemonte del Settembre-Ottobre 1993", Ed. L'Artistica Savigliano, http://www.provincia.torino.it/territorio-provto/aste_fiuviali/DBMFR/Strumenti/html/ponti.html, schede tecniche sono state redatte nell'ambito del programma Azioni per il controllo della sicurezza idraulica dei ponti della Provincia di Torino, http://marcopolo.arpa.piemonte.it/website/geo_dissesto/arpa_ib_a00/viewer.htm, sistema informativo geografico on-line Servizi WebGIS Analisi PSInSAR™ - Aree Anomale in Piemonte, 1996.
- [7]. Centro Funzionale Centrale della Protezione Civile Nazionale - "Rapporto preliminare sull'evento meteorologico avverso del 29/30 Maggio 2008 in Piemonte e Valle d'Aosta", Roma, 2008.
- [8]. Assessorato territorio, ambiente e opere pubbliche della Regione Autonoma Valle d'Aosta - "Relazione Preliminare: Danni a seguito delle avverse condizioni meteorologiche del 28-30.05.2008", 2008.
- [9]. Comitato Tecnico dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere - "Piano di Bacino 1° Stralcio funzionale-PS1: Aree soggette a rischio di esondazione nel tratto del Tevere compreso tra Orte e Castel Giubileo" approvato con D.P.C.M. del 3 Settembre 1998.
- [10]. Autorità di Bacino del fiume Tevere - "Direttiva PAI contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A" e B" approvata con deliberazione del Comitato Istituzionale n° 2 dell'11 Maggio 1999 e aggiornata il 5 Aprile 2006.
- [11]. P. Bersani, M. Bencivenga - "Le piene del Tevere a Roma dal V secolo a.C. all'anno 2000", Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, 2001.
- [12]. A. Piotti, C. Ferranti - "Quaderno idrologico del fiume Tevere" Supplemento al n° 2 di Tevere, Autorità di Bacino del Tevere, Roma, 1996.
- [13]. Autorità di Bacino del Fiume Tevere, Ufficio Piani e Programmi Luglio - "Ipotesi di regolazione dei deflussi ai fini del governo delle piene nel bacino del Tevere, parte III Sistema Corbara, Castel Giubileo", Roma, 2005.
- [14]. Dipartimento di Scienze dell'Ingegneria Civile dell'Università degli Studi Roma Tre e Tecnis SpA per ANAS SpA - "Studio idrologico e idraulico relativo alle interferenze idrauliche con il fiume Tevere nella progettazione esecutiva del nuovo collegamento viario Salaria-Tiberina a valle di Ponte del Grillo", Roma, 2006.
- [15]. Dipartimento Territorio della Regione Lazio - "Piano Regionale di Tutela Delle Acque" Deliberazione di Giunta Regionale n° 266 del 2 Maggio 2006 e approvato con deliberazione del Consiglio Regionale n° 42 del 27 Settembre 2007 (Supplemento ordinario al "Bollettino Ufficiale" n° 34 del 10 Dicembre 2007).
- [16]. Provincia di Roma - "Piano Territoriale Provinciale Generale (PTPG)" adottato dal Consiglio Provinciale in data 11 Febbraio 2008.
- [17]. Regione Lazio - "Piano Territoriale Paesaggistico Regionale (PTPR)", adottato dalla Giunta Regionale con atti n° 556 del 25 Luglio 2007 e n° 1025 del 21 Dicembre 2007.
- [18]. Provincia di Roma - "Programma Integrato di Sviluppo della Valle del Tevere e della Sabina Effetti idraulici prodotti dai ponti nei corsi d'acqua", Roma, 2007.
- [19]. S. Priest et al. - "Building a model to estimate Risk to Life for European flood events" Final Report T10-07-10 FLOODsite Novembre, 2007.
- [20]. E. Penning-Rowse, C. Johnson, S. Tunstall, S. Tapsell, J. Morris, J. Chatterton, A. Coker, C. Green - "The Benefits of flood and coastal defence: techniques and data for 2003", Flood Hazard Research Centre, Middlesex University, 2003.
- [21]. Ufficio Extradipartimentale della Protezione Civile del Comune di Roma - "Piano Generale di Emergenza della Protezione Civile. Scenari di rischio predefiniti e Procedure per l'attivazione e l'intervento dell'Ufficio Extradipartimentale della Protezione Civile e delle Strutture Operative Comunali e di Supporto", Deliberazione G.C. 1099/99 e O.P.C.M. 3606 del 28 Agosto 2007.