

Formulazione della vulnerabilità dinamica e schemi computazionali del rischio idraulico

**Workshop: VALUTAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO IN AMBITO MONTANO
ED APPLICAZIONE DELLA DIRETTIVA "ALLUVIONI"**

Bolzano, 03-04.05.2012

Dr. B. Mazzorana

Prospettiva adottata

L'obiettivo prefissato é la formulazione matematica della vulnerabilità fisica (→danni diretti), intesa in termini dinamici per la valutazione del rischio idraulico, tale che:

- la genesi spazio-temporale del rischio sia comprensibile;
- i processi possibili che determinano il danno atteso siano identificabili;
- l'analisi costi-benefici delle opere di mitigazione ipotizzate sia fisicamente basata;

Schema dei contenuti

- 1. Uno sguardo alle tipologie di rischio trattate e alle loro conseguenze attese sul territorio**
- 2. Definizione del problema di fondo e la prospettiva futura – la vulnerabilità della società come condizione al contorno**
- 3. La vulnerabilità “empirica” degli elementi a rischio – stato dell’arte**
- 4. La vulnerabilità degli elementi a rischio – la necessità di un approccio fisico e di una prospettiva dinamica**
- 5. Schemi computazionali per il rischio idraulico e per l’analisi costi-benefici**
- 6. Spunti per la ricerca e conclusioni**

1. Tipologie di pericolo e loro conseguenze

Schema interpretativo del rischio - versione statica



Alluvioni, fiumi di fondovalle a pendenza ridotta



Salorno 1981

Piana di Vipiteno 1987



Piense Fluviali

Alluvione torrentizia – l'importanza del trasporto solido e del fondo mobile



Fenomeni torrentizi con trasporto solido di fondo (fondo mobile e sponde erodibili)

Sesto 1965

Colate di detrito (e flussi iper-concentrati): la forza d'impatto é notevole!



Ratschings 2007



Pfunds 2005

***Debris Floods
Debris Flows***



Matsch 1983

La natura duale dei sistemi di protezione: mitigazione/accentuazione del pericolo – rischio



Lo schema d'intervento del passato:
Secondo la logica reattiva: movente, modo, occasione
Dopo un evento estremo (e dunque dopo la materializzazione del danno), con disponibilità di risorse elevata era possibile la realizzazione di opere di difesa importanti in breve tempo.



2. Definizione del problema di fondo e la prospettiva futura

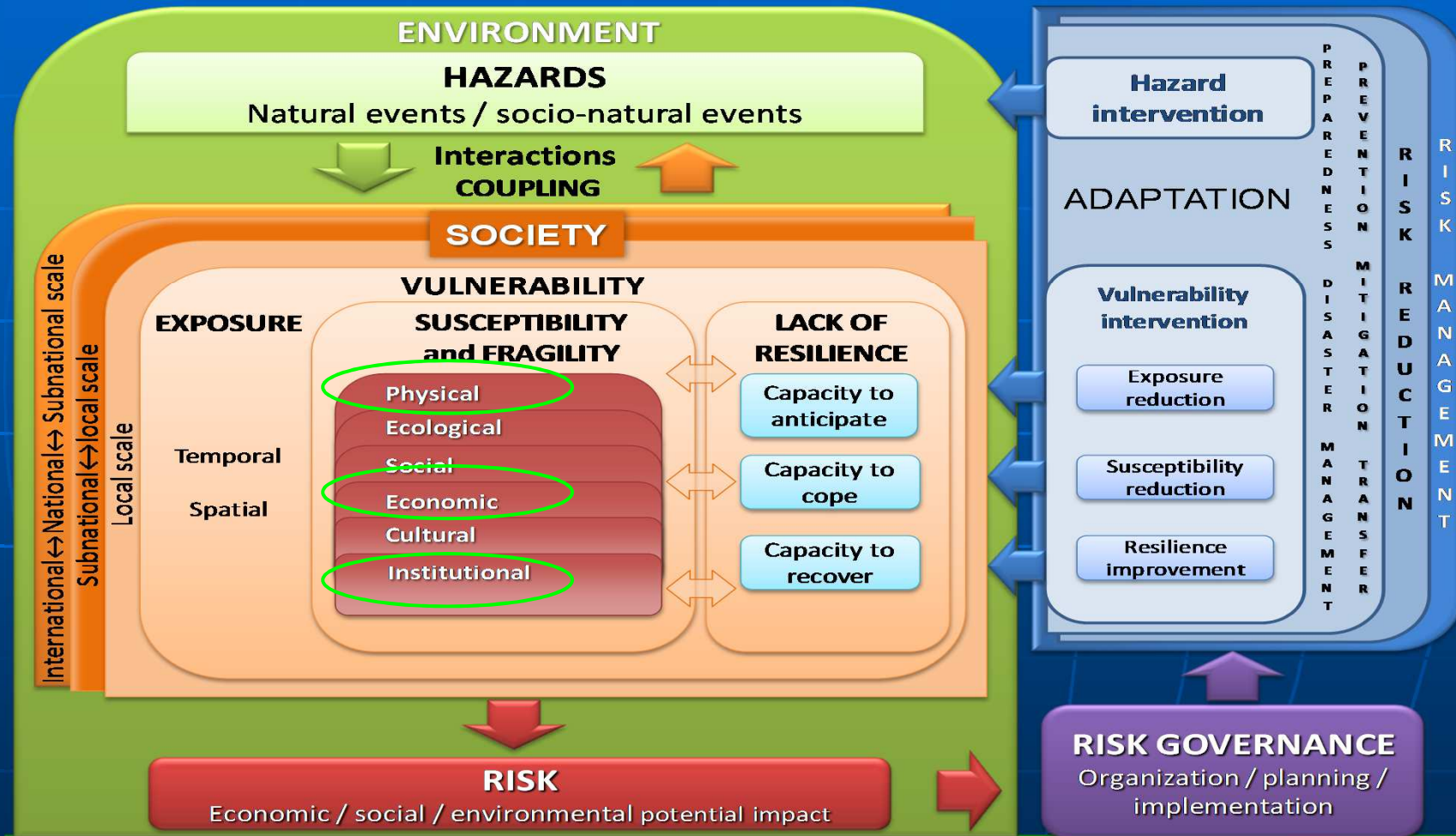
L' aumento dell'attività antropica sul territorio (e.s. pianure alluvionali, conoidi),
la ridotta efficacia del territorio nella laminazione delle piene (anche in virtù delle scelte di uso del suolo),
la progressiva “compressione planimetrica” degli alvei per l'espansione edilizia,
portano ad un aumento netto (in termini sia di probabilità che di intensità) del rischio da pericoli naturali.

2. Definizione del problema di fondo e la prospettiva futura

Il passaggio paradigmatico da una strategia reattiva di riduzione del pericolo (mantenendo inalterati i gradi di libertà per lo sviluppo degli insediamenti) ad una cultura del rischio si sta concretizzando in alcune regioni alpine con successo, infatti:

- *diversi attori concorrono alla gestione del rischio: settore pubblico, settore assicurativo, iniziativa privata;*
- *l'ottica olistica della gestione integrata si coniuga con la logica dell'analisi costi-benefici e la ripartizione degli oneri tra i beneficiari degli interventi .*

2. Definizione del problema di fondo e la prospettiva futura



Source: MOVE project <http://www.move-fp7.eu/>

La vulnerabilità della società come condizione al contorno

3. La vulnerabilità "empirica" degli elementi a rischio – una panoramica sullo stato dell'arte

Definizione di vulnerabilità:

La vulnerabilità è il rapporto tra il danno economico inteso come costo di sostituzione delle parti danneggiate e il costo di ricostruzione dell'intero oggetto.

Stato dell'arte nell'ambito della pianificazione del pericolo:

In Alto Adige é prevista l'individuazione del rischio specifico per gli elementi situati nell'inviluppo delle aree di pericolo.

Tuttavia, il rischio specifico é dedotto incrociando pericolo e danno potenziale, pertanto la vulnerabilità fisica viene trascurata.

3. La vulnerabilità "empirica" degli elementi a rischio – una panoramica sullo stato dell'arte – contesto internazionale

Autori e anno	Info generali	Definizione di vulnerabilità adottata	Criticità del metodo
Bründl et al. (2009) [CH]	<p>Pericolo: multi-pericolo Scala: regionale Elementi considerati: edifici, infrastrutture, persone</p> <p>Analisi: quantitativa (matrice di vulnerabilità), Intensità del pericolo considerata, resistenza oggetti non considerata esplicitamente;</p>	Vulnerabilità intesa come grado di danno per l'elemento considerato	<p>Le forzanti sono i tiranti idrici, mentre una velocità limite é considerata per valutare il collasso del edificio.</p> <p>Approccio <u>statico</u>, parametri di resistenza degli elementi <u>non</u> considerati;</p> <p>Pianificazione difesa: <u>NO</u>;</p> <p>Ambito di applicazione ristretto alla pianificazione del territorio.</p>

3. La vulnerabilità "empirica" degli elementi a rischio – una panoramica sullo stato dell'arte – contesto internazionale

Autori e anno	Info generali	Definizione di vulnerabilità adottata	Criticità del metodo
Fuchs et al: (2007) Totschnig et al. (2011) Papathoma et al. (2011) [Alpi]	Pericolo: Debris flow Scala: locale Elementi considerati: edifici; Analisi: quantitativa (funzione di vulnerabilità); Intensità pericolo considerata, resistenza oggetto non considerata esplicitamente	Vulnerabilità è il rapporto tra il danno economico inteso come costo di sostituzione delle parti danneggiate e il costo di ricostruzione dell'oggetto.	Metodo <u>empirico</u> e <u>statico</u> , basato su analisi post evento: Le forzanti sono gli spessori di deposito; Parametri di resistenza degli elementi <u>non</u> considerati. Range tipologico limitato. Pianificazione difesa anti-impatto: <u>NO</u>

3. La vulnerabilità "empirica" degli elementi a rischio – una panoramica sullo stato dell'arte – contesto internazionale

Dati di base:

- a) Documentazione degli eventi ED30 (*Macconi et al. 2008*)
- b) Documentazione degli eventi austriaca (*Hübl et al 2011*)
- c) Ricostruzione economica del danno

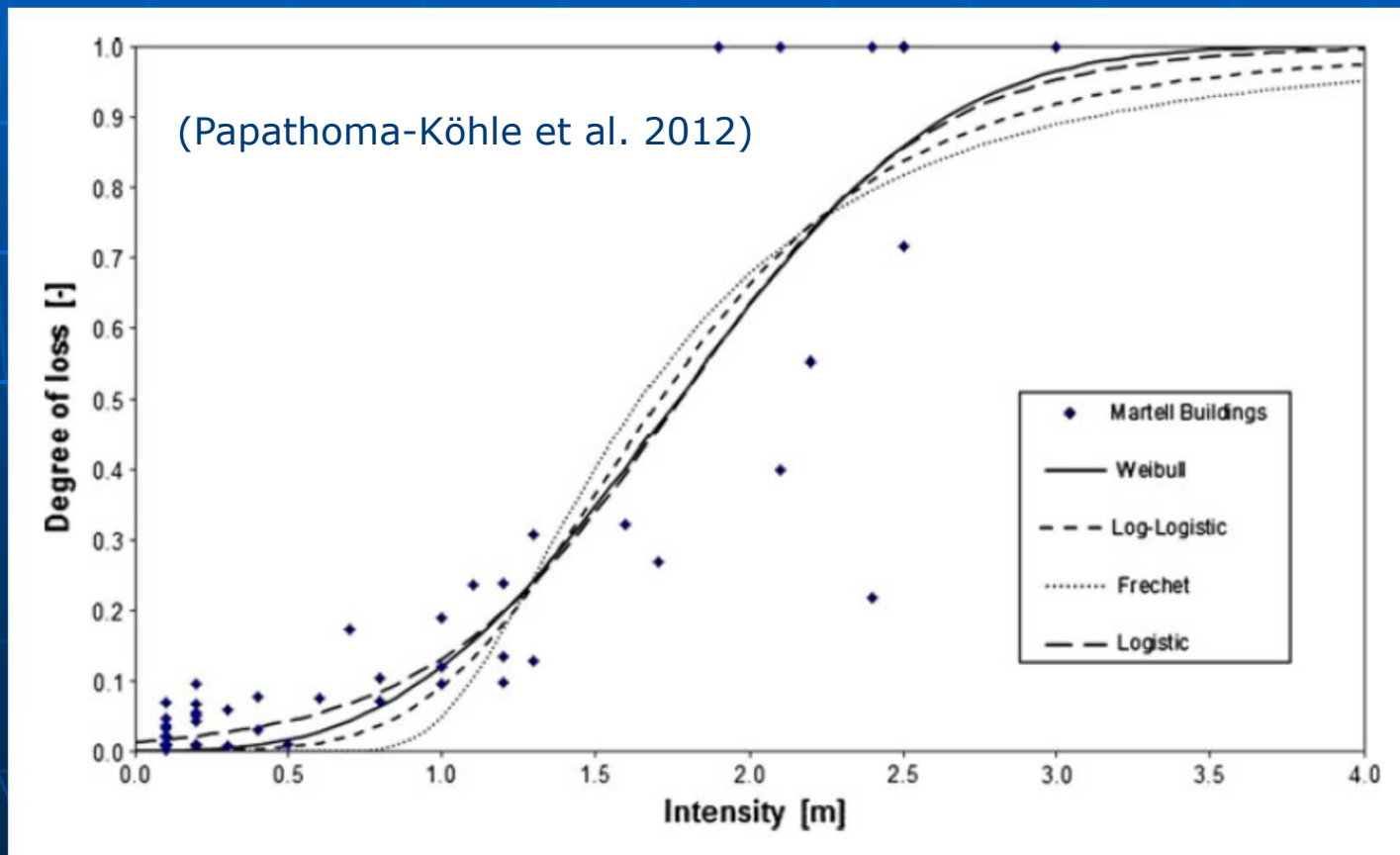


Fig. 4 The event of 22 August 2005 at the Stubenbach torrent in the municipality of Pfunds (courtesy of ASI Tirol)



3. La vulnerabilità "empirica" degli elementi a rischio – una panoramica sullo stato dell'arte – contesto internazionale

Risultato: Funzioni empiriche di vulnerabilità



3. La vulnerabilità "empirica" degli elementi a rischio – una panoramica sullo stato dell'arte – contesto internazionale

Risultato: Funzioni empiriche di vulnerabilità:

Criticità:

- Settoriali – Range tipologico ristretto (e.g. edifici)
- Parametri di resistenza degli elementi non considerati, condizioni iniziali non considerate
- Natura ancora statica della formulazione matematica della vulnerabilità (non é considerata la dipendenza dal tempo)
- Natura del legame tra cause ed effetti rimane celata nell'empirismo (solo lo spessore dei depositi "spiega" la vulnerabilità, dunque utilità limitata per la progettazione)

Punti di forza:

- Agevole utilizzo (basta la conoscenza degli spessori max di deposito in corrispondenza degli elementi a rischio)
- Strumento utile per l'analisi costi-benefici grezza di opere di sistemazione classiche (in alveo)

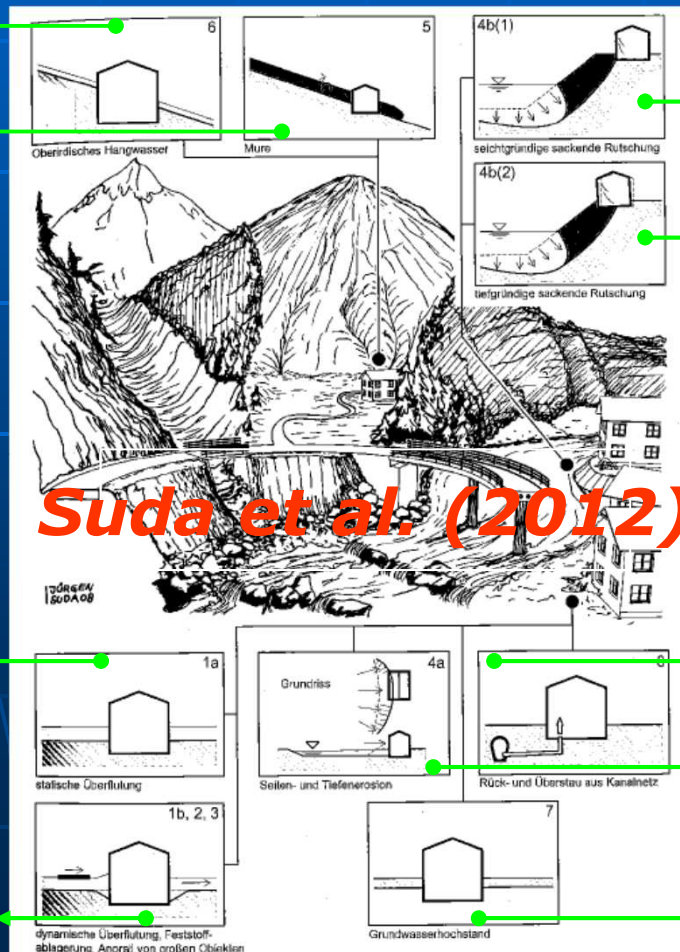
4. La vulnerabilità degli elementi a rischio – la necessità di un approccio fisico e di una prospettiva dinamica

Uno sguardo ai meccanismi di induzione del danno:

Acque superficiali

Colata detritica

Meccanismi combinati idraulico - geotecnici



Suda et al. (2012)

Inondazione statica

“pluvial” flooding

Incisione d’alveo ed erosione laterale

Inondazione dinamica

Acqua nel terreno

UNA STRUTTURA CONCETTUALE (Mazzorana et al. 2012)

Analisi di processo
(es. Modellazione
2D a fondo mobile
del debris flow)

Scelta volume e
sezioni di
controllo per
l'oggetto da
analizzare

Velocità (u,v)
Tiranti (h)
Variazioni del fondo Δz
in un intorno dell'oggetto da
analizzare (VOLUME DI CONTROLLO)

Analisi dell'impatto
(es. Modellazione dei
condizionamenti
geotecnici, dei
carichi statici e
dinamici, nonché
delle forzanti fisico-
techniche)

Modello
semplificato
(geometrico-
statico)
dell'oggetto da
analizzare

- 1) Coefficienti di sicurezza (rib., sciv., stab. glob.)
- 2) Condizioni di carico per la struttura
- 3) Condizioni per l'intrusione diretta di materiale nei volumi interni
- 4) "Wetting" superfici strutturali (forzanti per flussi di massa attraverso l'inviluppo strutturale)

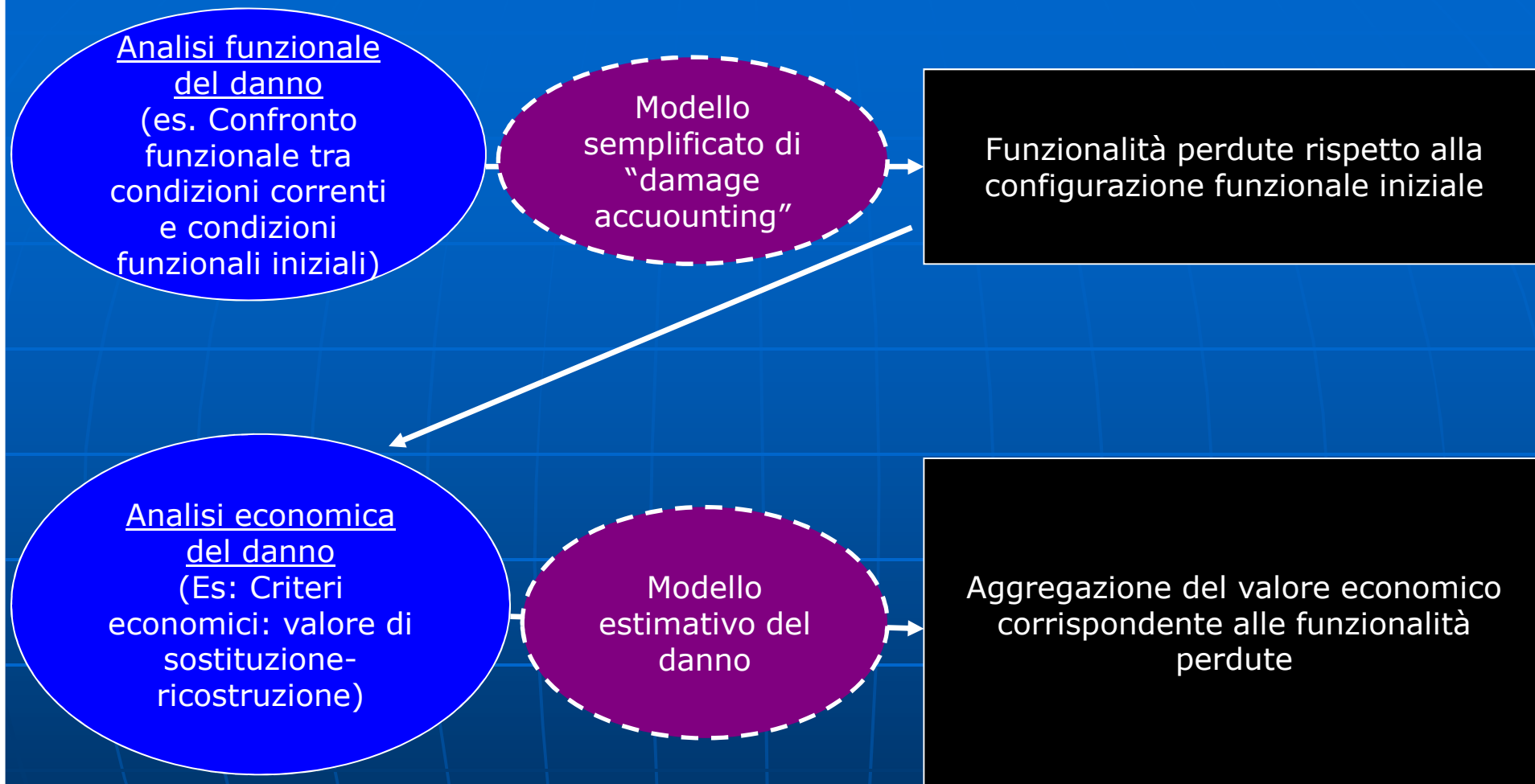
Analisi della risposta
dinamica
(es. Modellazione
statica, elastostatica,
ev. cinetica per
elementi mobili,
fisica-technica)

Modello
dinamico
dell'oggetto da
analizzare

- Cedimenti del terreno di fondazione
Tensioni e deformazioni in relazione a
quelle ammissibili degli elementi
strutturali,
- 3) Intrusione diretta di materiale nei volumi interni
 - 4) Flussi di massa – contenuto idrico dell'inviluppo strutturale



UNA STRUTTURA CONCETTUALE (Mazzorana et al. 2012)



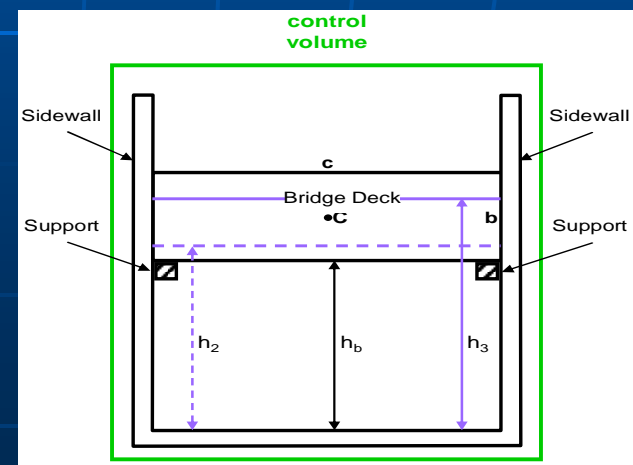
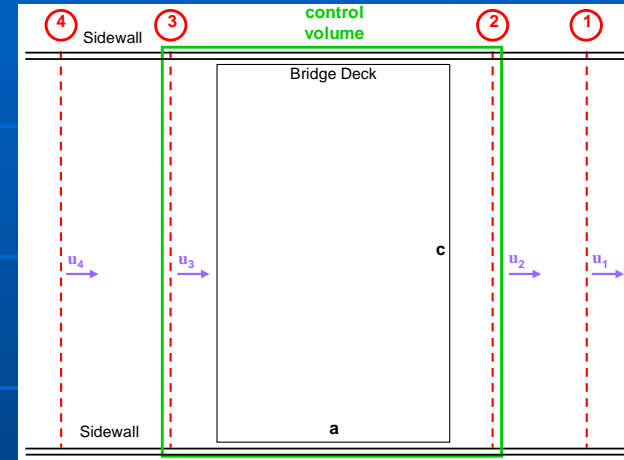
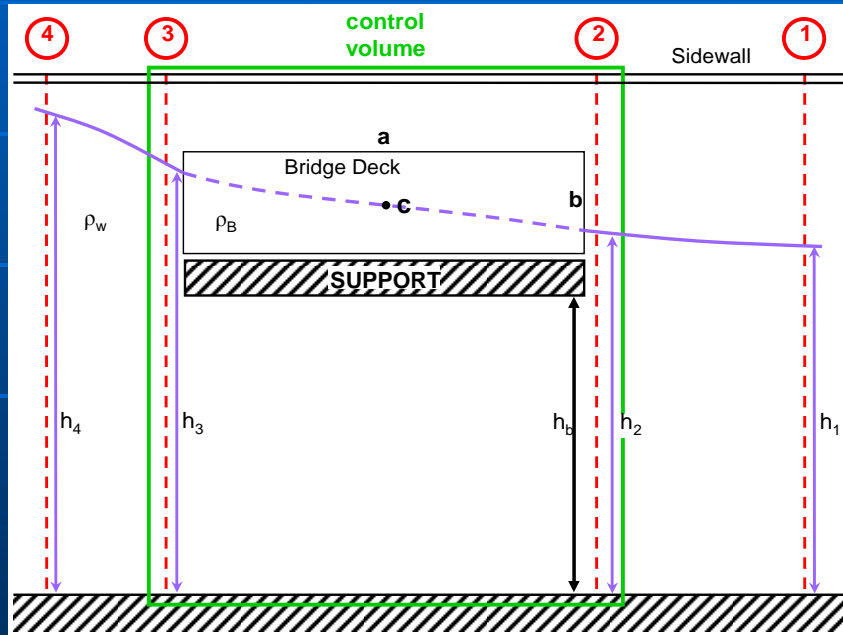
↑ L'analisi può essere condotta in forma dinamica (es. per tutti i passi temporali)

ESEMPIO APPLICATIVO: Vulnerabilità di un ponte

Analisi di processo
(es. Modellazione
1D a moto
permanente e
fondo fisso)

Scelta volume e
sezioni di controllo per
l'oggetto da
analizzare

Velocità (u)
Tiranti (h)
in un intorno dell'oggetto da
analizzare (VOLUME DI CONTROLLO)



ESEMPIO APPLICATIVO: Vulnerabilità di un ponte

Analisi dell'impatto
(es. Modellazione dei carichi statici e dinamici)

Modello
semplificato
(geometrico)
dell'oggetto da
analizzare

1) Condizioni di carico per la struttura

$$\Delta S_x = S_{3,x} - S_{2,x}$$

$$S_{3,x} = \rho_w c h_3 u_3^2 + \frac{1}{2} \rho_w g h_3^2 c$$

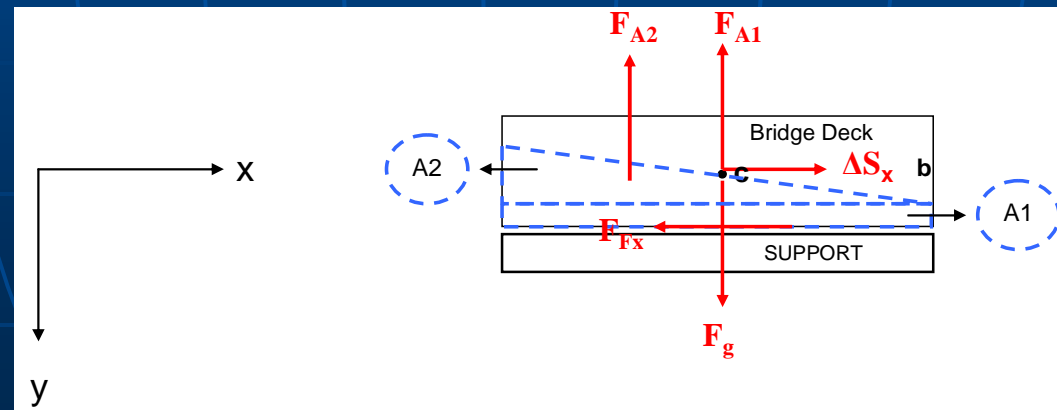
$$S_{2,x} = \rho_w c h_2 u_2^2 + \frac{1}{2} \rho_w g h_2^2 c$$

$$\Delta S_x = \rho_w c \left[h_3 \left(u_3^2 + \frac{g}{2} h_3 \right) - h_2 \left(u_2^2 + \frac{g}{2} h_2 \right) \right]$$

$$F_{Fx} = -\mu_s N = -\mu_s (F_g - F_{A1} - F_{A2})$$

$$N = gac \left[\rho_B b - \rho_w \left(\frac{h_2}{2} - h_B + \frac{h_3}{2} \right) \right]$$

$$F_{Fx} = -\mu_s gac \left[\rho_B b - \rho_w \left(\frac{h_2}{2} - h_B + \frac{h_3}{2} \right) \right]$$



ESEMPIO APPLICATIVO: Vulnerabilità di un ponte

Analisi della risposta dinamica
(es. Modellazione cinetica per elementi mobili)

Modello dinamico dell'oggetto da analizzare

1) Spostamenti strutturali

Condizione di moto incipiente:

$$\rho_w \left[h_3 \left(u_3^2 + \frac{g}{2} h_3 \right) - h_2 \left(u_2^2 + \frac{g}{2} h_2 \right) \right] - \mu_s g a \left[\rho_B b - \rho_w \left(\frac{h_2}{2} - h_B + \frac{h_3}{2} \right) \right] > 0$$

Qualora la condizione di moto incipiente sia soddisfatta si ha:

$$\frac{du_B}{dt} = \frac{\Delta S_x + F_{Fx}}{m}$$

$$\Delta S_x = u_B^2 \rho_w c (h_3 - h_2) - u_B \rho_w c (2h_3 u_3 + 2h_2 u_2) + \rho_w c \left[h_3 u_3^2 - h_2 u_2^2 + \frac{g}{2} (h_3^2 - h_2^2) \right]$$

$$\frac{du_B}{dt} = \frac{\rho_w (h_3 - h_2)}{\rho_B ab} u_B^2 - \frac{\rho_w (2h_3 u_3 + 2h_2 u_2)}{\rho_B ab} u_B + \frac{\rho_w \left[h_3 u_3^2 - h_2 u_2^2 + \frac{g}{2} (h_3^2 - h_2^2) \right]}{\rho_B ab} - \mu_d g \left[1 - \frac{\rho_w}{\rho_B} \frac{1}{b} \left(\frac{h_2 + h_3}{2} - h_B \right) \right]$$

Che é della forma:

$$\frac{du_B}{dt} = pu_B^2 + qu_B + r$$

Risolubile con metodi analitici e numerici (e.g. Runge - Kutta)

ESEMPIO APPLICATIVO: Vulnerabilità di un ponte

Analisi funzionale del danno
(es. Confronto funzionale tra condizioni correnti e condizioni funzionali iniziali)

Modello semplificato di "damage accounting"

Funzionalità perdute rispetto alla configurazione funzionale iniziale

Lo spostamento del baricentro del ponte viene assunto come indicatore del danno funzionale

$$0 \leq \bar{\Delta}x_c \leq \frac{a \left[\rho_w \left(\frac{h_2 - h_b}{2} \right) + \rho_w \left(\frac{h_3 - h_2}{3} \right) - \rho_B \frac{b}{2} \right]}{\left[\rho_w (h_2 - h_b) + \rho_w \left(\frac{h_3 - h_2}{2} \right) - \rho_B b \right]}$$

ESEMPIO APPLICATIVO: Vulnerabilità di un ponte

Analisi economica del danno
(Es: Criteri economici: valore di ripristino della condizione)

Modello
estimativo del
danno dovuto
allo
spostamento

Valore economico

Il valore economico del danno viene assunto proporzionale allo spostamento. Quando lo spostamento supera il valore limite, il danno atteso é totale (vulnerabilità pari a 1)

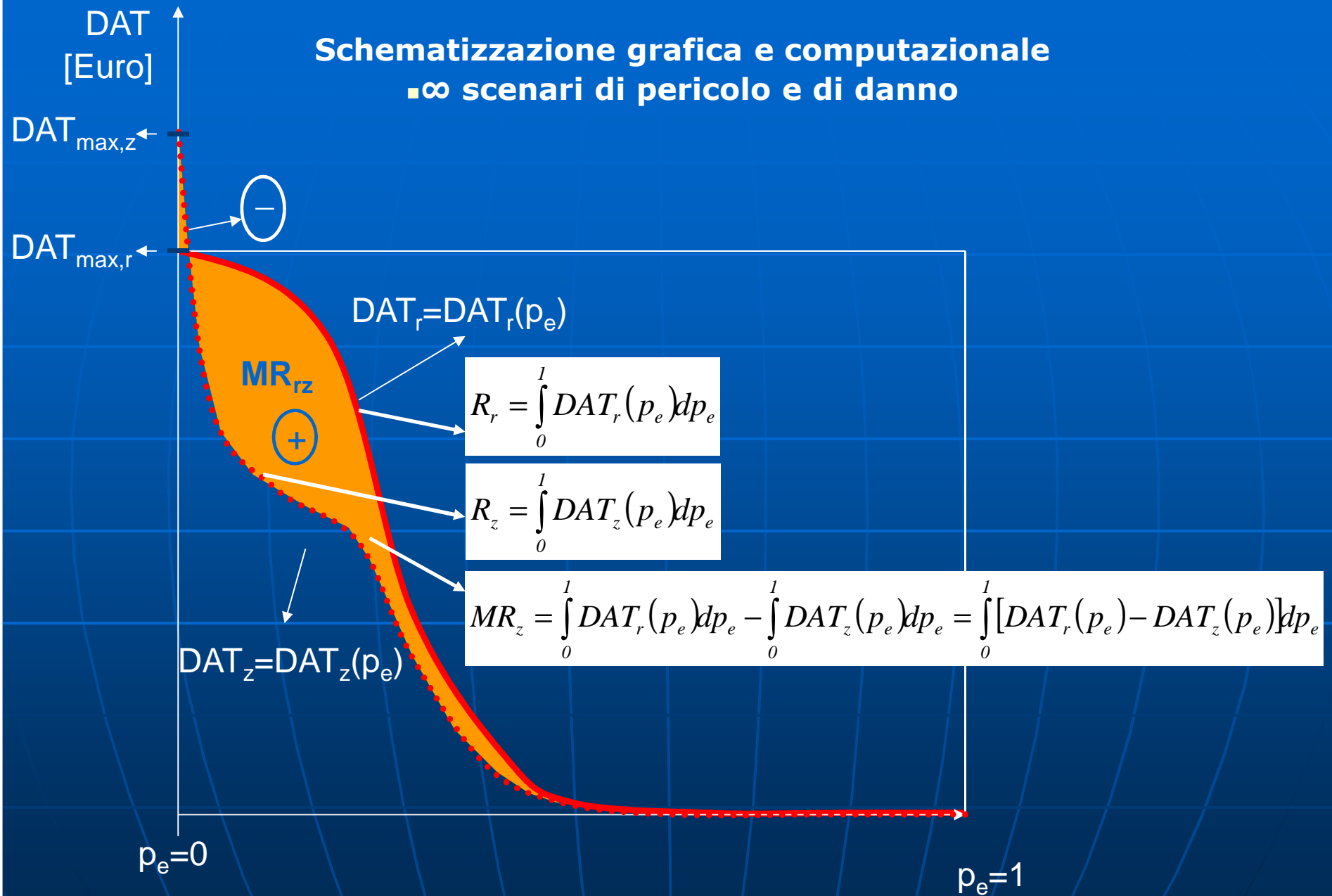
$$\begin{cases} v_i = c \frac{\Delta x_c}{\bar{\Delta x}_c}, \text{ con } 0 < c < 1, \text{ se } \Delta x_c < \bar{\Delta x}_c \\ v_i = 1 & \text{ se } \Delta x_c = \bar{\Delta x}_c \end{cases}$$

5. Schemi computazionali per il rischio idraulico e per l'analisi costi-benefici

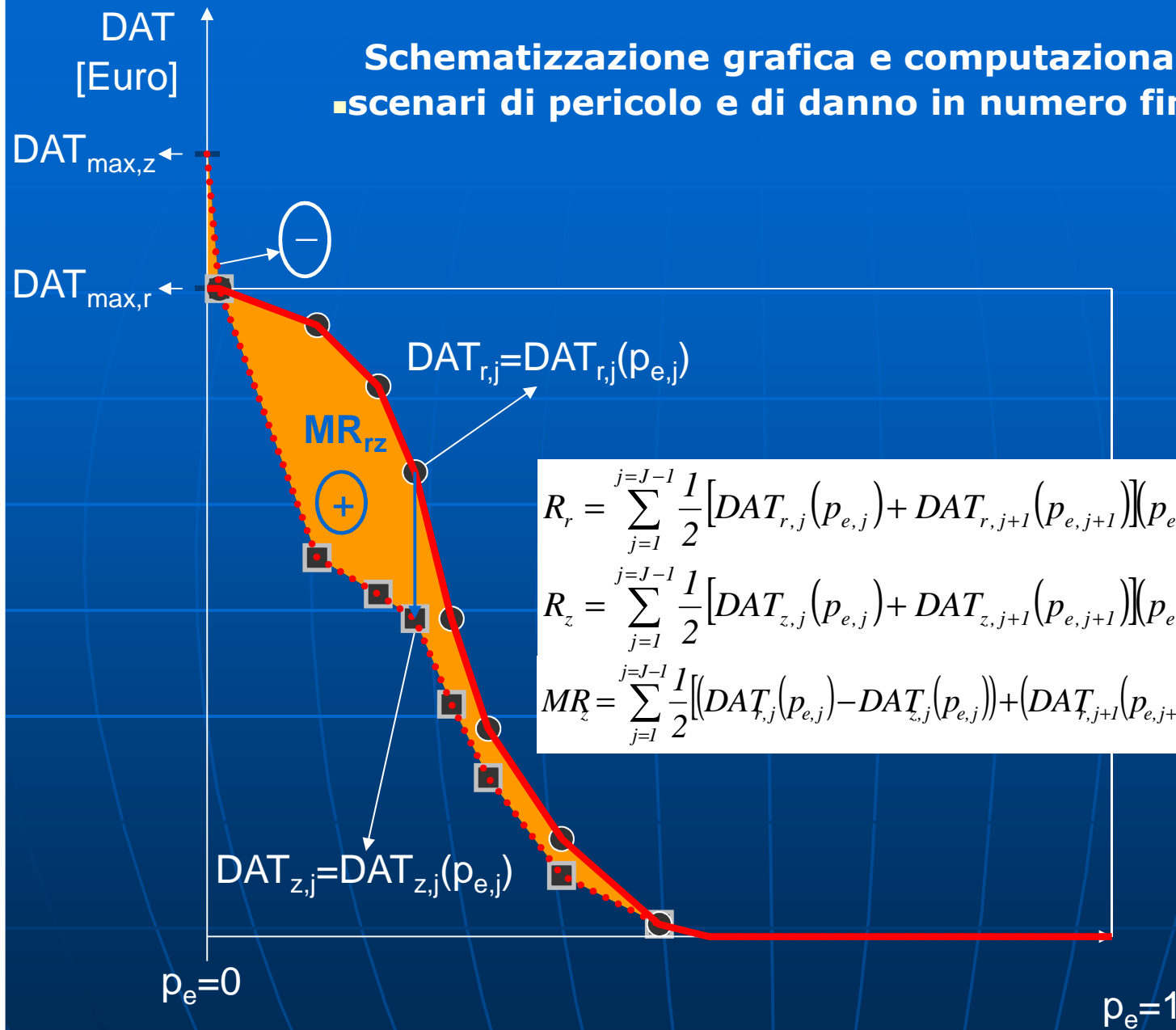
- La distribuzione del danno atteso e i profili di rischio completi pre e post intervento di mitigazione pianificato
 - Semplificazioni computazionali
 - Dinamiche di lungo periodo
 - Schemi computazionali completi e semplificati per l'analisi costi-benefici
- Cenni

Schematizzazione grafica e computazionale

■ ∞ scenari di pericolo e di danno



Schematizzazione grafica e computazionale ■ scenari di pericolo e di danno in numero finito



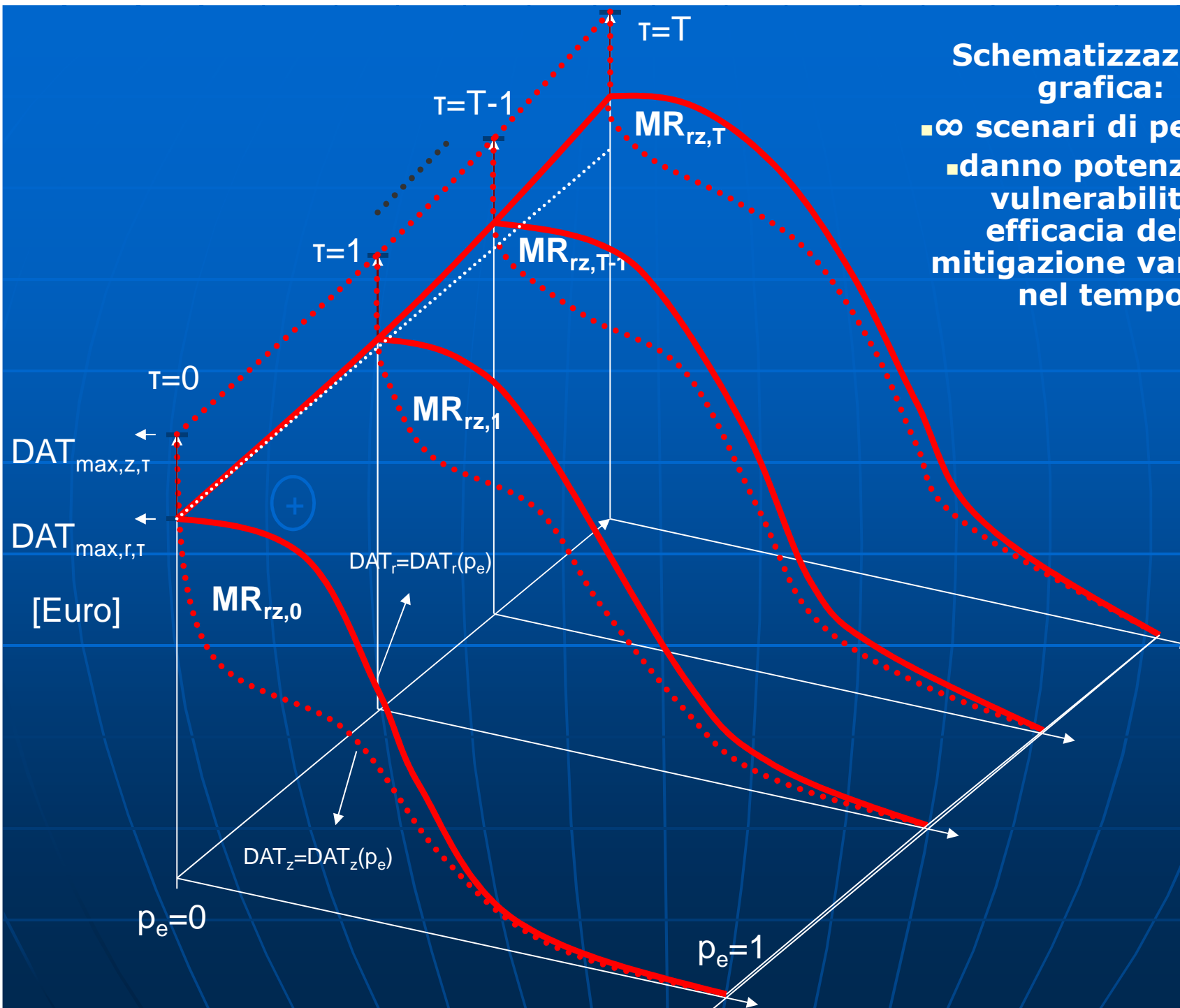
$$R_r = \sum_{j=1}^{j=J-1} \frac{1}{2} [DAT_{r,j}(p_{e,j}) + DAT_{r,j+1}(p_{e,j+1})] (p_{e,j+1} - p_{e,j})$$

$$R_z = \sum_{j=1}^{j=J-1} \frac{1}{2} [DAT_{z,j}(p_{e,j}) + DAT_{z,j+1}(p_{e,j+1})] (p_{e,j+1} - p_{e,j})$$

$$MR_z = \sum_{j=1}^{j=J-1} \frac{1}{2} [(DAT_{r,j}(p_{e,j}) - DAT_{z,j}(p_{e,j})) + (DAT_{r,j+1}(p_{e,j+1}) - DAT_{z,j+1}(p_{e,j+1}))] (p_{e,j+1} - p_{e,j})$$

Schematizzazione grafica:

- ∞ scenari di pericolo
- danno potenziale, vulnerabilità, efficacia della mitigazione variabili nel tempo



IL Net Present Value (NPV) o Valore Attuale Netto (VAN)

Caso 1: scenari di pericolo e di danno in numero finito e danno potenziale, vulnerabilità e efficacia della mitigazione costanti nel tempo (da $\tau=0$ a $\tau=T$):

Flusso atteso dei costi:

$$CP(LC)_z = \bar{e}_z = (e_{z,1}, \dots, e_{z,\tau}, \dots, e_{z,T})$$

NPV:

$$NPV_z = \sum_{\tau=1}^T \frac{(MR_z - e_{z,\tau})}{(1+r)^\tau} = \left[MR_z \cdot \sum_{\tau=1}^T \frac{1}{(1+r)^\tau} \right] - \left[\sum_{\tau=1}^T \frac{e_{z,\tau}}{(1+r)^\tau} \right] = \left[MR_z \cdot \frac{(1+r)^T - 1}{r \cdot (1+r)^T} \right] - \left[\sum_{\tau=1}^T \frac{e_{z,\tau}}{(1+r)^\tau} \right]$$

IL Net Present Value (NPV) o Valore Attuale Netto (VAN)

Caso 2: scenari di pericolo e di danno in numero finito e danno potenziale, vulnerabilità e efficacia della mitigazione variabili nel tempo (da $\tau=0$ a $\tau=T$):

Flusso atteso dei costi:

$$CP(LC)_z = \bar{e}_z = (e_{z,1}, \dots, e_{z,\tau}, \dots, e_{z,T})$$

Flusso atteso dei benefici:

$$\overset{\rightarrow}{MR}_z = (MR_{z,1}, \dots, MR_{z,\tau}, \dots, MR_{z,T})$$

NPV:

$$NPV_z = \sum_{\tau=1}^T \frac{(MR_{z,\tau} - e_{z,\tau})}{(1+r)^\tau}$$

Rischio dinamico e danno atteso

Approccio di calcolo per il danno atteso:

$$DA_i(t_k) = VN_i \cdot \delta_i \cdot v_i(t_k)$$

Approccio di calcolo semplificato per la vulnerabilità dinamica (Mazzorana et al., in press):

$$\frac{dv_i}{dt} = \psi_{r,i} \cdot \psi_{l,i} \cdot v_i \cdot \sqrt{\frac{1-v_i}{1+v_i}}, \quad \forall i$$

$$\psi_{r,i} = \frac{1}{a_i \cdot m_i \cdot g}$$

$$\psi_{l,i}(t) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_{d_i} \cdot h_i(t) \cdot b_i \cdot \bar{v}_{\perp i}^2(t)$$

Approccio di calcolo per il rischio variabile:

$$DAT(t_k) = \sum_{i=1}^N DA_i(t_k)$$

$$DAT = DAT(t_K)$$

6. Spunti per la ricerca e Conclusioni

SPUNTI PER LA RICERCA:

- Costruzione di modelli di vulnerabilità dinamica per prototipi di elementi a rischio (e.s. varie tipologie di edifici, varie tipologie di infrastrutture) e deduzione di schemi semplificati (ma fisicamente basati) da corroborare con il supporto della documentazione eventi;
- Verificare l'utilità dei metodi proposti anche per la progettazione di strutture anti-impatto (statico – dinamico e fisico-tecnico) per gli edifici→ **possibile rilevanza per le “nuove” costruzioni nelle zone di pericolo blu!**

CONCLUSIONI:

- Abbiamo tracciato un percorso conoscitivo che comprende le nozioni di vulnerabilità statica e dinamica, il legame con il rischio idraulico e l'analisi costi-benefici;
- Abbiamo derivato schemi computazionali per la quantificazione della vulnerabilità e del rischio;
- Infine abbiamo identificato alcune direttrici per la ricerca specifica

Grazie per l'attenzione!



e buona applicazione!