



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA  
“TOR VERGATA”  
FACOLTÀ DI INGEGNERIA  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E INGEGNERIA INFORMATICA

Dottorato in Geoinformazione

**L'APPROCCIO SISTEMICO  
ALLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO TERRITORIALE**

Candidato  
**Ing. Alessandro Paregiani**

Luglio 2014

Mentor  
**Prof.ssa Maria Ioannilli**



## PRESENTAZIONE

Questa tesi di dottorato, coordinata con la tesi svolta dall'ing. Maurizio Ambrosanio, arriva a conclusione dopo un lungo tempo dal suo inizio.

I due lavori portano a sintesi problemi, concetti e soluzioni tecnologiche che nell'arco del tempo hanno caratterizzato l'attività di ricerca, didattica e professionale dei due candidati.

Il problema della sicurezza territoriale e della prevenzione strutturale del rischio è infatti il tema intorno al quale, negli ultimi cinque anni, si è concentrato il lavoro dei due candidati sia sul versante disciplinare che su quello imprenditoriale.

Su questa tematica è cresciuto un corso curriculare della Laurea Magistrale di Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, a cui essi hanno partecipato in sede di correlazione a tesi di laurea, si è costituito un Master di secondo livello, all'interno del quale essi forniscono supporto didattico ed esercitativo, si sono realizzate attività di ricerca finanziata e numerosi lavori professionali che lo spin-off universitario da essi costituito ha portato a termine.

La lunga esperienza condotta, e di cui questi lavori rappresentano un punto d'arrivo benché non definitivo, dà conto della possibile e reale integrazione tra sfera scientifica e sfera professionale, e documenta i benefici da essa detraibili su entrambi i versanti.

La tematica della prevenzione strutturale del rischio territoriale costituisce, nel nostro Paese, così tanto avvezzo a fronteggiare le diffusissime situazioni di rischio sempre in condizioni di emergenza e di ristoro, certamente una frontiera ancora poco esplorata.

Tanto più essa risulta originale se coniugata nel verso del supporto tecnico operativo ai processi di gestione ordinaria del territorio che, nel nostro Paese, sono fortemente distribuiti, molto settoriali, poco determinati nelle loro reciproche relazioni e comunque mai orientati all'obiettivo della prevenzione strutturale.

Per affrontare questa tematica è stato dunque necessario produrre approfondimenti su un numero molto elevato di variabili, spesso attingendo a discipline diverse, formulando diverse ipotesi metodologiche e tecniche la cui robustezza è stata più volte messa in crisi dalla prassi operativa.

Per questi motivi, come dicevo, il punto d'arrivo rappresentato dai due lavori di tesi non può essere considerato definitivo. Tuttavia, la sistematizzazione dei concetti basilari della prevenzione strutturale del rischio, che ha permesso di riformulare il concetto stesso di rischio in una prospettiva di sistema, la definizione di un modello concettuale del sistema di gestione del territorio e la sperimentazione di un sistema di supporto alle decisioni, costituiscono una solida base su cui costruire futuri e credibili sviluppi.

Prof. Maria Ioannilli



INDICE

<b>PREMESSA ED OBIETTIVI</b>	<b>1</b>
<b>1</b> <b>PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>2</b> <b>OBIETTIVI</b>	<b>7</b>
<b>PARTE I - FORMALIZZAZIONE DEI CONCETTI RILEVANTI E ANALISI DELLE CRITICITÀ</b>	<b>9</b>
<b>IL CONCETTO DI SICUREZZA TERRITORIALE</b>	<b>10</b>
<b>3</b> <b>DEFINIZIONI</b>	<b>11</b>
3.1   Sistema	11
3.2   Territorio	15
3.3   Rischio	18
3.4   Sicurezza Territoriale	19
3.5   La prevenzione del rischio e la sicurezza territoriale	20
<b>L'APPROCCIO CANONICO ALLA STIMA DEL RISCHIO</b>	<b>24</b>
<b>4</b> <b>METODI DI STIMA DEL RISCHIO</b>	<b>25</b>
4.1   Analisi di pericolosità	26
4.1.1   Metodi deterministici	26
4.1.2   Metodi statistici	26
4.1.3   Metodi empirici	28
4.2   Analisi di vulnerabilità	30
4.2.1   Metodi analitici	30
4.2.2   Metodi tipologici	31
4.2.3   Metodi qualitativi	32
<b>CRITICITÀ CONNESSE ALLA STIMA DEL RISCHIO TERRITORIALE</b>	<b>34</b>
<b>5</b> <b>LA NATURA SISTEMICA DEL RISCHIO</b>	<b>35</b>
5.1   Territorio come Sistema	35
5.2   Il rischio sistemico	37
5.3   Limiti dell'approccio canonico di stima del rischio nella prospettiva della sicurezza territoriale	39
5.4   L'approccio sistemico alla gestione del territorio	43
<b>6</b> <b>L'INCERTEZZA NELLA STIMA DEL RISCHIO</b>	<b>45</b>
6.1   Il concetto di incertezza	45
6.2   L'incertezza nei processi di stima del rischio	46
6.2.1   Incertezza epistemica	46

6.2.2 Aleatorietà dei fenomeni	51
6.2.3 La prevedibilità dei fenomeni pericolosi	52
6.2.4 Natura sistemica del rischio territoriale	54
<b>PARTE II - PROPOSTA METODOLOGICA E OPERATIVA</b>	<b>56</b>
<b>7 PROPOSTA METODOLOGICA</b>	<b>57</b>
7.1 Premessa	57
7.2 Dal concetto di pericolo a quello di "funzione di pericolosità"	58
7.3 Dal concetto di vulnerabilità specifica a quello di "classi di vulnerabilità"	62
7.4 La funzione di regolazione	65
7.5 Il modello concettuale di riferimento	66
<b>8 IL SISTEMA DI SUPPORTO ALLE DECISIONI</b>	<b>69</b>
8.1 Finalità	69
8.2 Utenti	69
8.3 Use cases	71
8.4 Funzionalità del sistema	78
8.5 Realizzazione e popolamento del database	80
8.5.1 Realizzazione del database	80
8.5.2 Popolamento del database	84
8.6 Realizzazione del sistema	85
8.6.1 Caratteristiche dell'architettura	88
8.6.2 Dettaglio dell'architettura	91
8.6.3 Tecnologie utilizzate	93
8.6.4 Realizzazione degli strumenti di interrogazione e dei servizi web cartografici	98
8.6.5 Realizzazione dell'interfaccia web	102
<b>9 CONCLUSIONI</b>	<b>105</b>
<b>10 BIBLIOGRAFIA</b>	<b>108</b>
<b>APPENDICE – ATTIVITÀ SVOLTE NEL PERIODO DI RIFERIMENTO</b>	<b>111</b>
Attività di ricerca	111
Collaborazione alla realizzazione di tesi di Master e di Laurea	114
Attività didattica	117
Formazione	119
Attività professionale	120
Pubblicazioni	122

## INDICE DELLE FIGURE

Fig. 1.	Il rischio territoriale: frane, incendi e sisma	3
Fig. 2.	Il rischio territoriale: erosione costiera ed esondazioni	5
Fig. 3.	Delimitazione di un sistema	14
Fig. 4.	Sistema e ambiente	15
Fig. 5.	Curva di accettabilità del rischio	21
Fig. 6.	Approccio canonico alla stima del rischio	25
Fig. 7.	Flow-sheet del metodo statistico	27
Fig. 8.	Metodi di stima della pericolosità connessa ai fenomeni franosi (da idrogeologia.net)	29
Fig. 9.	Il funzionamento del Sistema Territoriale	35
Fig. 10.	Approccio sistemico all'analisi del rischio	38
Fig. 11.	Relazionamento tra elementi strategici del sistema territoriale	39
Fig. 12.	Stima del rischio complessivo agente sul territorio, nell'approccio canonico	41
Fig. 13.	Costruzione dello scenario di rischio secondo l'approccio canonico	42
Fig. 14.	Flusso logico di definizione ed implementazione di un modello (rielaborato da: Oberkampfa et al. 2002)	49
Fig. 15.	Schema generale di un ETA	59
Fig. 16.	Esempio applicativo di un ETA	60
Fig. 17.	Schema concettuale posto alla base del disegno del sistema di supporto alle decisioni	68
Fig. 18.	Schema del database	83
Fig. 19.	Architettura logica del sistema	92
Fig. 20.	Creazione di un layer attraverso Geoserver	101
Fig. 21.	Creazione di un tematismo attraverso Geoserver	102
Fig. 22.	Disegni dell'interfaccia web del sistema	103

**PREMESSA ED OBIETTIVI**



## 1 PREMESSA

Seppur con una diversificazione nelle tipologie e nell'intensità degli eventi o nell'ammontare di vite umane e beni materiali esposti al pericolo, il nostro Paese e molti altri in Europa e nel mondo sono periodicamente sede di eventi calamitosi di diversa natura (esondazioni, frane, terremoti, eruzioni vulcaniche etc.), a seguito dei quali puntualmente si riapre il dibattito sul che fare per fronteggiare quello che ormai sembra un inarrestabile cammino verso la catastrofe territoriale.

Di fronte ad eventi calamitosi tutte le voci che si levano reclamano la messa in opera di interventi straordinari di manutenzione del territorio, come strumento attivo di prevenzione del rischio. Ora, è del tutto evidente che di fronte ad uno stato di dissesto come quello che tutti gli studi nazionali ed internazionali documentano, promuovere interventi finalizzati alla messa in sicurezza di quelle parti del territorio che attualmente manifestano evidenti condizioni di insicurezza è quanto mai necessario ed auspicabile.

Ci sono però alcune altre questioni su cui interrogarsi, che non possono essere messe in ombra dall'emergenza, che trovano la loro ragione nel riconoscimento delle caratteristiche del contesto sia territoriale sia dell'apparato dei processi decisionali legati alla sicurezza territoriale.

In particolare il nostro Paese presenta dal punto di vista della sicurezza del territorio una situazione particolarmente problematica in relazione al rischio idrogeologico poiché su una superficie complessiva di 301.000 chilometri quadrati, ben 106.000 sono occupati da montagne e altri 125.000 chilometri quadrati sono occupati da colline. Le aree di pianura sono, quindi, poco più di 70.000 chilometri quadrati, appena il 23 per cento del territorio nazionale.

Il nostro Paese é caratterizzato inoltre da una alta sismicità, legata alla sua particolare posizione geografica. Ancora, tutta la dorsale tirrenica della penisola italiana é costellata da complessi vulcanici (i Monti Sabatini, i Colli Albani, i Campi Flegrei, il complesso Somma Vesuvio...) che hanno eruttato in un periodo geologico relativamente recente.

Sempre a causa della particolare posizione geografica della nostra penisola e soprattutto della sua conformazione orografica, l'assetto meteorologico è spesso caratterizzato da piogge intense e concentrate in brevi periodi.

Circa il 28 % del territorio italiano è coperto da boschi e foreste (circa 8.700.000 ettari) e questo rende il territorio particolarmente sensibile al fenomeno degli incendi.

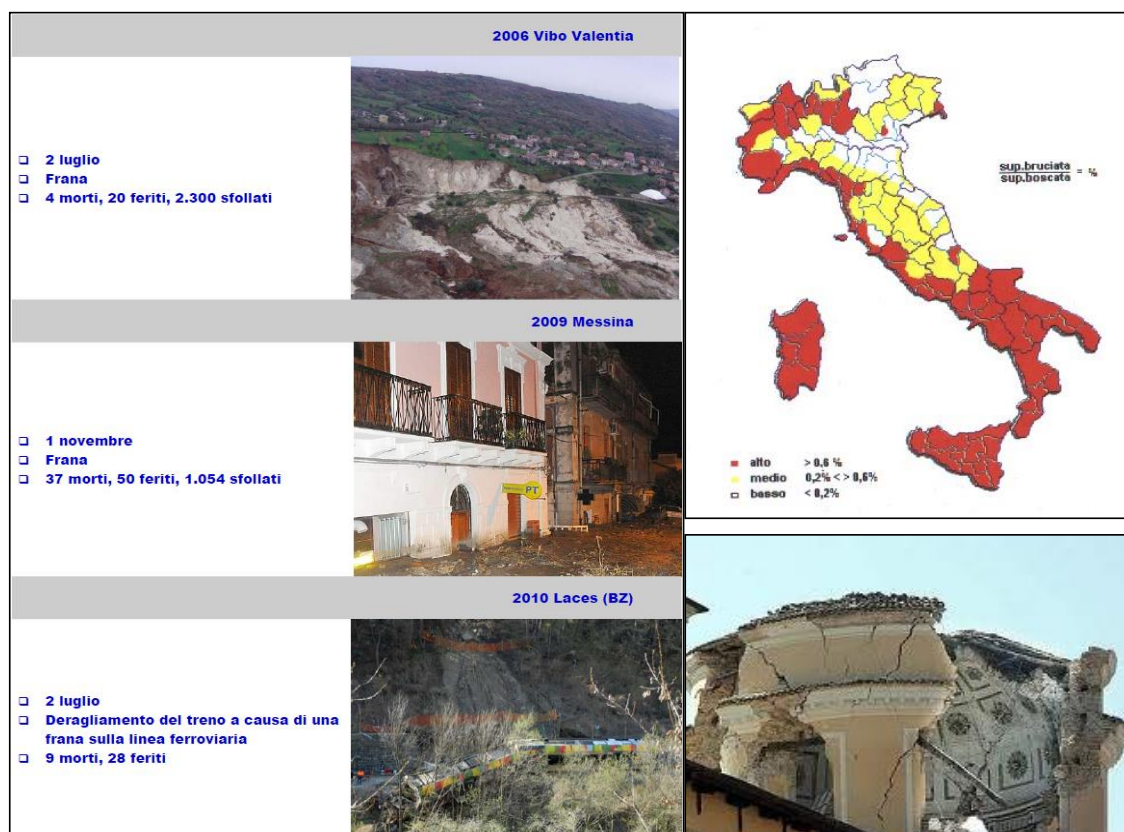


Fig. 1. Il rischio territoriale: frane, incendi e sisma

Gran parte dell'Italia si affaccia sul mare e le nostre coste, che hanno una lunghezza complessiva di circa 8.000 Km, manifestano un costante arretramento a causa del lento innalzamento del livello marino (circa un millimetro e mezzo all'anno).

Non può infine trascurarsi la vastità, l'importanza e la capillarità del patrimonio storico e artistico del nostro Paese, che è il più importante del mondo (la nostra Costituzione è una delle poche al mondo a prevedere tra i "principi fondamentali" e tra i compiti della Repubblica (art. 9) la tutela del "patrimonio storico e artistico della Nazione").

Tutte queste caratteristiche fanno del nostro Paese un territorio particolarmente "fragile", ma considerazioni analoghe possono essere tratte analizzando una molteplicità di altri contesti territoriali distribuiti su tutto il pianeta, in cui l'equilibrio tra la vita dell'ambiente naturale e quella delle popolazioni insediate è inevitabilmente, diffusamente e drammaticamente un elemento di cui farsi carico, se vogliamo garantire stabili condizioni di sicurezza.

Ora è evidente che questo equilibrio sia stato infranto più e più volte e che sia urgente una azione di breve periodo in grado di ridurre le condizioni di rischio più significative.

Tuttavia, proprio la grande e diffusa fragilità di molti contesti territoriali dovrebbe spingerci ad affrontare la questione della sicurezza in una prospettiva di più lungo periodo, e convincerci a farlo adottando finalmente un approccio che vada al di là di un modello di "prevenzione operativa", finalizzata cioè al ripristino o alla minimizzazione di un danno imminente.

Ma per provare a determinare le azioni da mettere in campo dobbiamo innanzitutto sgombrare il campo da alcune ambiguità concettuali che condizionano la nostra capacità di adottare approcci alla sicurezza del territorio diversi rispetto a quelli sin qui praticati, i quali certamente non hanno dato buoni risultati.

La prima di queste ambiguità concerne la stessa idea di rischio, o meglio le modalità con cui tendiamo a qualificare gli elementi causali del rischio.

Normalmente noi classifichiamo i rischi associandoli a due grandi famiglie di fenomeni causali: fenomeni naturali e fenomeni antropici, con qualche difficoltà nella attribuzione dei diversi fenomeni all'una o all'altra famiglia. Le vicende catastrofiche citate in precedenza sono unanimemente associate, da parte di tutti coloro che hanno studiato, dibattuto e scritto su di esse, alla famiglia dei rischi naturali.

Questa, in realtà, è una concettualizzazione dannosa, perché nasconde ciò che costituisce la vera causa del rischio territoriale in Italia e, così facendo, impedisce di trovare soluzioni strutturali al rischio stesso.

Per provare a spiegare questa affermazione, si può utilizzare il lavoro di un autore colombiano (Wilches-Chaux, 2007) il quale propone una classificazione diversa e più interessante dei rischi, suddividendoli in tre gruppi. Secondo questo autore i **rischi naturali** sono quelli che derivano da dinamiche proprie degli ecosistemi naturali, come l'eruzione di un vulcano, un terremoto o uno tsunami. I **rischi di origine antropica** sono, al contrario, quelli causati totalmente dalle attività umane, come la contaminazione dei suoli o delle acque, o gli incidenti industriali.

La terza famiglia, infine, è quella **dei rischi socio-naturali**, che sono quelli che si verificano a causa dell'intervento umano sull'ambiente naturale. Molti di questi sono simili ai rischi naturali, come ad esempio le frane o i fenomeni di subsidenza dei terreni; essi sono però il risultato di una gestione inadeguata delle componenti naturali del territorio, come i bacini fluviali ed il suolo.

É innegabile che, nel nostro Paese, la quasi totalità dei rischi territoriali a cui siamo sottoposti siano del terzo tipo e non, come invece continuamente ripetiamo, di origine naturale. L'intervento umano è infatti quello che, da un lato, è capace di generare l'innescarsi di fenomeni calamitosi che coinvolgono le componenti naturali del territorio (è forse inutile ricordare che l'impermeabilizzazione continua dei suoli, alterando il normale ciclo idraulico delle acque, contribuisce in maniera strutturale al manifestarsi di esondazioni o che il prelievo dissennato di inerti dagli alvei fluviali produce il costante impoverimento del trasporto solido a valle con conseguenze drammatiche sull'erosione delle coste) e, dall'altro, tende ad associare spazialmente i due termini del rischio (pericolosità e vulnerabilità).

Questo vuol dire che l'idea che ci sia una sorta di ineluttabilità degli eventi, connessa alla speciale caratterizzazione ed alla intrinseca fragilità del territorio non è corretta e che, al contrario, dovremmo prendere definitivamente e sostanzialmente atto che sono le nostre scelte di trasformazione del territorio che hanno avuto ed hanno un ruolo determinante nei confronti della generazione del rischio.



Fig. 2. *Il rischio territoriale: erosione costiera ed esondazioni*

Una seconda questione che pure merita di essere chiarita, e che in parte discende dalle considerazioni precedenti, concerne la **prevenzione strutturale del rischio** territoriale e le modalità operative con cui è possibile perseguirla. Con il termine prevenzione strutturale si intende il complesso delle decisioni e delle azioni finalizzate ad evitare il manifestarsi di fenomeni potenzialmente pericolosi ovvero, in presenza di fenomeni non evitabili, a fare in modo che non ci siano elementi vulnerabili esposti ad essi.

Se questa definizione è accettabile, allora ne consegue che questo tipo di prevenzione non è materia che possa essere confinata all'interno dell'angusto campo di intervento della Protezione Civile, come noi siamo usi fare, soprattutto se

con questo termine continuiamo ad identificare una specifica funzione amministrativa dello Stato chiamata ad intervenire a valle dei processi di trasformazione del territorio, con lo specifico scopo di minimizzare i danni (in fase di prevenzione operativa o di gestione dell'emergenza).

La prevenzione strutturale, infatti, non può che passare attraverso la gestione ordinaria del territorio messa in atto dai soggetti e dagli enti che hanno una reale capacità di regolarne le modalità di trasformazione e che sono quindi in grado di determinare, ad un tempo futuro, se e come i due termini del rischio (pericolosità e vulnerabilità) si ritroveranno accoppiati o meno.

La prospettiva di dare una consistenza operativa a questa assunzione, come più avanti verrà ampiamente documentato, presenta svariati ed elevati profili di problematicità, principalmente ma non esclusivamente legati ai metodi di stima del rischio e ai modelli normativi, organizzativi e gestionali che regolano i processi di gestione del territorio.

Per poter sostenere, sotto il profilo tecnico, l'implementazione di tali processi, da un lato è indispensabile chiarire, sia sotto il profilo contenutistico che tecnico, il concetto di sicurezza territoriale, dall'altro risulta necessario indagare con una certa profondità il quadro regolamentare ed operativo all'interno del quale si manifesta l'intervento pubblico di governo del territorio.

## 2 OBIETTIVI

A partire dalle considerazioni espresse in premessa, è possibile enumerare il complesso degli elementi, concettuali, tecnici ed operativi che necessitano di essere indagati per poter giungere alla formulazione di strumenti di supporto alla gestione del territorio nella prospettiva della sicurezza territoriale.

Allo scopo di giungere alla enumerazione di tali elementi è necessario anticipare, in forma estremamente sintetica e rimandando agli approfondimenti successivi, il modello concettuale assunto per descrivere il comportamento del sistema territoriale rispetto al rischio.

Assumendo in prima istanza che:

- il sistema territoriale sia descrivibile come il complesso degli elementi naturali ed antropici interagenti all'interno di processi regolati da norme<sup>1</sup>,
  - il rischio sia esprimibile come il prodotto della pericolosità e della vulnerabilità<sup>2</sup>,
- il modello concettuale può essere così espresso.
- un pericolo è determinato dalla combinazione di diversi fattori causali (naturali o antropici);
  - il pericolo agisce su date parti del territorio modificandone la configurazione;
  - il territorio, data la sua natura sistemica, può alterare a sua volta la configurazione del pericolo:
    - amplificandone la magnitudo
    - trasmettendo, per il tramite delle relazioni fisiche e funzionali intercorrenti tra le componenti direttamente vulnerate dal pericolo ed il resto del sistema, il pericolo stesso eventualmente coinvolgendo e modificando lo stato di ulteriori componenti del sistema
  - la modificata configurazione delle diverse componenti del sistema può agire come fattore causale per la generazione di ulteriori pericoli;
  - un pericolo globalmente inteso può o può non avere associato a sé un processo di controllo e quindi un soggetto normativamente identificato come responsabile della sua prevenzione;
  - in generale, tuttavia, è ipotizzabile che alcuni dei fattori (causali, amplificativi o di interferenza) del pericolo vengano governati (pianificati, gestiti, monitorati) da una o più funzioni amministrative, a loro volta gestite da uno o più soggetti identificati normativamente, secondo finalità non direttamente riferibili agli scopi di prevenzione del pericolo;

---

<sup>1</sup> Per la trattazione del concetto di sistema e territorio si veda i successivi punti 3.1 e 3.2

<sup>2</sup> Per la trattazione del concetto di rischio si veda il successivo punto 3.3

- in ogni caso è identificabile un processo di governo del territorio mediante il quale assicurare (anche parzialmente) che non vengano collocati elementi vulnerabili all'interno di areali di pericolosità.

Assumendo a riferimento tale modello, pur riconoscendone i limiti di semplificazione, è dunque possibile enumerare gli elementi su cui concentrare l'attenzione per poter giungere alla formulazione di strumenti tecnici utilmente impiegabili per sostenere processi di governo del territorio orientati al perseguimento della sicurezza territoriale.

In prima istanza essi possono essere così elencati:

- la formalizzazione del concetto di sicurezza territoriale in un approccio di tipo sistemico;
- la descrizione delle condizioni di pericolosità, vulnerabilità e rischio agenti all'interno del territorio, secondo un approccio di tipo sistemico;
- la possibilità di prevedere le condizioni di rischio agenti all'interno del territorio ad un tempo futuro di riferimento;
- la descrizione dei processi di governo del territorio, sotto il profilo normativo, processuale ed operativo;
- la identificazione delle esigenze di supporto tecnico ai processi di governo del territorio;
- la identificazione del sistema della conoscenza utilizzabile per la implementazione degli strumenti di supporto.

Data l'ampiezza della materia trattata, e stante l'interesse alla produzione di uno strumento operativo in grado di supportare la implementazione dei processi di governo del territorio orientati a garantire la minimizzazione del rischio, che costituisce l'obiettivo operativo del presente lavoro di dottorato, l'obiettivo conoscitivo assunto nella trattazione seguente concerne principalmente la formalizzazione dei concetti relativi alla stima ed alla modellazione previsionale del rischio territoriale secondo un approccio sistemico.

Tali concetti, da cui derivare il modello logico che orienterà la realizzazione del sistema di supporto alle decisioni, saranno integrati con quelli concernenti i processi di governo del territorio indagati all'interno del lavoro di dottorato svolto dall'ing. Maurizio Ambrosanio, con cui il presente lavoro è coordinato.

**PARTE I - FORMALIZZAZIONE DEI CONCETTI RILEVANTI E ANALISI DELLE  
CRITICITÀ**

---



**IL CONCETTO DI SICUREZZA TERRITORIALE**

### 3 DEFINIZIONI

Nel presente lavoro sono contenuti alcuni termini il cui significato necessita di essere specificato in relazione alla prospettiva adottata nel lavoro di dottorato. Tali termini (sistema, territorio, rischio, sicurezza territoriale e prevenzione), infatti, possono essere coniugati in diverse forme, dipendentemente dal contesto culturale, operativo e tecnico all'interno del quale essi vengono utilizzati.

Per delimitare in maniera puntuale il campo interpretativo di tali concetti, distinguendolo da altri (principalmente connessi ai processi di protezione civile) all'interno dei quali pure essi sono rintracciabili, viene fornita di seguito una breve disamina per ciascuno di essi.

#### 3.1 Sistema

Il significato del termine "sistema" sembra essere del tutto intuitivo ma, proprio per questo, esso presenta alcune ambiguità interpretative.

*"Il suo significato, ad esempio, non è in relazione con il concetto di "sistematicità" che esprime la tendenza ad ordinare, classificare o costruire secondo regole precise" (Maione, 2004).*

Una precisa definizione etimologica del termine pone alcuni problemi.

Secondo alcuni il termine deriva dal verbo greco "sunistamai", che significa porre insieme; secondo altri esso deriva dal sostantivo "sustema" con il quale lo storico Polibio indicava un "corpo organizzato di soldati".

Con riferimento a questa seconda ipotesi, al concetto di sistema è associato quello di componenti (di una formazione militare) che interagiscono (collaborano) tra loro per raggiungere uno scopo comune.

Questa accezione è stata fatta propria da J.W. Forrester (Forrester, 1971), uno dei padri fondatori della moderna disciplina di "analisi dei sistemi", che fornì la seguente definizione:

*"il sistema è un insieme organizzato di parti cooperanti per uno scopo comune."*

L'idea di parti organizzate e cooperanti che agiscono per perseguire uno scopo comune adombra una idea di sistema come insieme dotato di struttura. L'organizzazione, infatti, rappresenta il principio essenziale di un sistema, ed essa costituisce la struttura che connette in modo interdipendente gli elementi che lo costituiscono, e permette al sistema di esistere come elemento unitario nel tempo.

Il sistema quindi è una

*"entità che deve la sua esistenza alla interazione tra le parti che lo compongono"*  
(Bertalanffy, 1967)

*"SISTEMA: ciò che è costituito da più elementi interdipendenti, uniti tra loro in modo organico (sistema sociale, l'insieme dei rapporti e delle interazioni esistenti tra componenti di un corpo sociale | sistema economico, l'insieme dei rapporti che si stabiliscono tra gruppi di individui in relazione alle attività produttive, ai modi di produzione e allo scambio dei beni | sistema musicale, insieme di rapporti che collegano gli elementi di un determinato linguaggio musicale; anche, la sua codificazione teorica: sistema tonale, temperato, dodecafonico )"*

*(Enciclopedia UTET)*

Esiste una sostanziale differenza tra il concetto di insieme ed il concetto di sistema e tale differenza risiede nel fatto che in un sistema il tutto è diverso dalla somma delle parti; il comportamento di un elemento influenza il comportamento dell'altro. Sono quindi le interazioni tra elementi a determinare il comportamento collettivo del sistema.

Il processo di interazione tra le parti costituenti il sistema è ciò che noi chiamiamo **"organizzazione"**.

In un sistema il comportamento di una componente influenza il comportamento di altre componenti che con essa interagiscono.

Viceversa, un cambiamento del sistema unitariamente visto non può non indurre delle modificazioni sulle parti componenti il sistema che, a loro volta, e proprio in virtù della modificazione del loro stato, possono modificare le relazioni reciproche.

Dal **principio** di interdipendenza discende quello di **"non sommatività"** che significa che un sistema non può essere visto semplicemente come somma delle parti che lo compongono.

A **livelli crescenti di complessità** del sistema, e proprio per effetto della interdipendenza tra le parti, esso risulta infatti complessivamente caratterizzato da proprietà non direttamente riconoscibili nelle parti che lo compongono (**proprietà emergenti**).

Un comportamento emergente o proprietà emergente **può** comparire quando un numero di entità semplici operano in un ambiente dando origine a **comportamenti più complessi in quanto collettività**.

Le proprietà emergenti non sono proprietà delle singole entità che compongono il sistema e non possono facilmente essere riconosciute o dedotte dal comportamento di entità del livello più basso.

Una delle ragioni per cui si verifica un comportamento emergente è che il numero di interazioni tra le componenti di un sistema aumenta in maniera combinatoriale con il numero delle componenti.

D'altro canto, **non è di per sé sufficiente un gran numero di interazioni per determinare un comportamento emergente**, perché molte interazioni potrebbero essere irrilevanti, oppure annullarsi a vicenda.

Quindi, **non è solo il numero di connessioni** tra le componenti a produrre comportamenti emergenti, **ma anche l'organizzazione** di queste connessioni.

In ogni caso, studiare le proprietà e le funzioni di un sistema significa ammettere che esso sia riconoscibile come elemento unitario distinguibile da tutto ciò che lo circonda.

Ciò implica che è necessario giungere alla determinazione di quale sia il **confine di esistenza del sistema** stesso, quali siano le componenti in esso contenute, distinte da quelle che si ritengono esterne ad esso.

La schematizzazione di un sistema è una operazione sempre funzionale alla finalità per cui l'operazione stessa viene condotta, e pertanto arbitraria.

*"la **definizione** di un qualsiasi sistema particolare è **arbitraria** .... l'universo sembra essere costituito da un insieme di sistemi, ciascuno dei quali e' contenuto in un sistema maggiore .....*

*così come è possibile espandere un sistema in una dimensione più ampia, è anche possibile ridurlo ad una versione minore....." (Stafford Beer, 1959)*

Il problema del margine è, nel caso di alcuni sistemi come ad esempio quelli fisici, naturalmente definito (le superfici di separazione tra un corpo e l'ambiente nel caso dello scambio termodinamico).

Nei casi più complessi, ed in particolare nell'ambito dei sistemi territoriali, la determinazione del confine di esistenza del sistema è spesso una operazione dotata di grande soggettività ed arbitrarietà.

Il concetto di margine del sistema serve tuttavia a mettere in evidenza una "autonomia" degli elementi in esso contenuti, rispetto a quelli esterni appartenenti all'ambiente. In sostanza il margine di un sistema identifica e seleziona le relazioni tra le componenti interne del sistema, riconoscendole come più significative (per tipo, intensità, qualità) rispetto ai legami più deboli (e quindi meno significativi) stabiliti dalle componenti del sistema stesso con le componenti dell'ambiente.

*"... studiare proprietà e funzioni di un sistema significa ammettere implicitamente la possibilità di poterlo distinguere da tutto ciò che lo circonda, separandolo da quanto per definizione è da esso distinguibile e separabile." (Maione, 2004)*

Nella trattazione di sistemi che scambiano relazioni con l'ambiente, tuttavia, il concetto di margine va visto in senso del tutto analitico dato che essi costituiscono con l'ambiente un elemento unitario.

*"L'ambiente di un dato sistema è costituito da tutti gli oggetti tali che un cambiamento nei loro attributi influenza il sistema e anche da quegli oggetti i cui attributi sono cambiati dal cambiamento del sistema" (Hall & Fagen, 1956).*

In generale ammetteremo che un **sistema** comunque delimitato può essere scomposto in **parti**. Ciascuna parte può, a sua volta, può essere vista essa stessa come sistema (**sottosistema**). Allo stesso modo un sistema può essere visto come parte di un sistema più esteso (**l'ambiente** in cui il sistema si colloca).

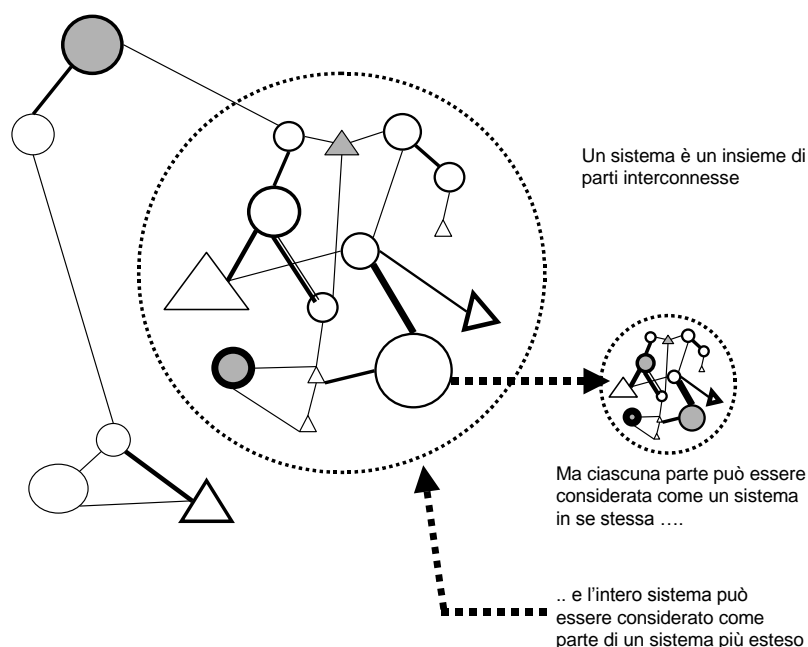


Fig. 3. Delimitazione di un sistema

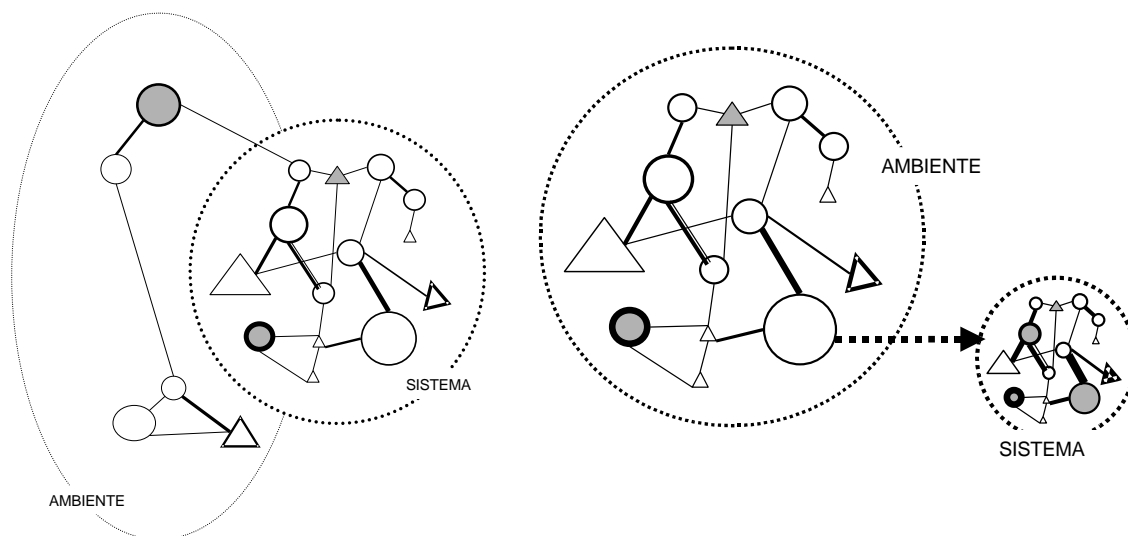


Fig. 4. Sistema e ambiente

Dal punto di vista concettuale e tecnico gli elementi necessari alla descrizione ed allo studio di un sistema sono:

- le **componenti**
- le **interazioni tra le componenti** (quali componenti interagiscono tra di loro)
- le **leggi che regolano le interazioni** (secondo quale regola le interazioni si manifestano)

Le componenti, a loro volta, sono descritte da un insieme di **attributi** (le caratteristiche) utili alla misurazione dello stato delle componenti stesse ad un tempo dato.

L'operazione di schematizzazione isola un sottoinsieme di componenti e di relazioni dal sistema complessivo, assumendo cioè di poter ritenere non significative, o significative solo a livello di ambiente, le componenti non prese in considerazione.

### 3.2 Territorio

Il concetto di territorio è determinato all'interno delle diverse discipline che lo assumono come campo di studio.

- in biologia:
  - è il luogo le cui caratteristiche fisiche o abiotiche, possono permettere ad una data specie di vivere e svilupparsi. È essenzialmente l'ambiente che può circondare una popolazione di una specie (**habitat**)<sup>3</sup>;

<sup>3</sup> Direttiva 92/43/CEE, art.1

- in politica:  
un territorio è una porzione di spazio all'interno del quale si esercita l'autorità di un organismo politico (Stato);
- in economia  
luogo all'interno del quale si manifestano le relazioni tra persone, imprese, enti ed altri operatori economici che agiscono svolgendo quattro funzioni fondamentali: produzione, consumo, accumulazione e distribuzione del reddito e della ricchezza (nella questione della delimitazione di un territorio economico si pongono vari elementi di complessità, legati al fenomeno della globalizzazione dell'economia );
- in **urbanistica** ed in pianificazione territoriale:  
è lo spazio geografico in cui si esplica una funzione di regolazione
  - **spazio geografico**: astrazione che rappresenta la distribuzione delle attività e degli insediamenti sulla superficie terrestre organizzato e collegato da relazioni orizzontali e verticali
  - **relazioni orizzontali**: sono quelle che intercorrono tra aree diverse e che comportano scambi di merci, circolazione delle informazioni, flussi migratori ecc.
  - **relazioni verticali**: (o ecologiche) connettono i soggetti economici (insediamenti, imprese, ecc.) con le caratteristiche proprie dei diversi luoghi (clima, risorse minerarie, caratteri storico-culturali)
  - **funzione di regolazione**: processo mediante cui si governano le **trasformazioni dei luoghi** e, quindi, delle **relazioni verticali** che legano i soggetti economici allo spazio fisico.
- nella **geografia fisica** <sup>4</sup>:  
un'area con caratteri distintivi dal punto di vista geologico, geomorfologico, pedologico, climatico
- nella **geografia umana o antropica** <sup>5</sup>:

---

<sup>4</sup> La geografia fisica è la branca della scienza che si occupa dello studio delle caratteristiche fisiche della Terra e dei processi naturali che avvengono nell'atmosfera, nella geosfera e nell'idrosfera (Wikipedia)

<sup>5</sup> La geografia antropica studia gli aspetti economici, politici e culturali della geografia. La geografia umana esamina come gli individui si adattano a un determinato quadro ambientale, in quale modo interpretano e vivono i luoghi nei quali operano, e come interagiscono con il territorio. Essa studia anche le caratteristiche culturali, i generi di vita (intesi come complessi di abitudini di un gruppo umano), ed il paesaggio creato/modificato dall'uomo. La geografia antropica è stata fondata da Friedrich Ratzel (Ratzel, 1914), etnologo e geografo tedesco.

un "artefatto sociale derivato dai processi umani di territorializzazione" (Raffestin, 1981) (Raffestin, 2007).

In questa definizione, si postula implicitamente una significativa differenza tra il concetto di spazio (fisico) e quello di territorio (Turco, 1988):

- spazio: indica un'estensione della superficie terrestre dotata di attributi fisici;
- territorio: uno spazio sul quale si è esercitato un lavoro umano finalizzato ad un controllo pratico dello spazio fisico.
- Territorializzazione: il processo attraverso cui lo spazio è trasformato in territorio.

Il processo di territorializzazione è considerato come esito dell'agire collettivo, quindi socialmente mediato e normato. Inoltre, poiché il processo di territorializzazione rappresenta una condizione mediante la quale il sistema sociale tende a conservarsi e riprodursi, esso possiederà le caratteristiche fondamentali della logica sociale (culturale, economica e tecnologica) in cui è incorporato.

Da queste definizioni discendono due conseguenze molto rilevanti.

La prima è che, essendo i processi di territorializzazione direttamente discendenti dalle caratteristiche (culturali, economiche, tecnologiche) del sistema sociale che li attua, non è possibile parlare di territorio in maniera astratta, assumendone cioè caratteristiche di esistenza e di evoluzione definite a priori.

In termini molto concreti questo significa che quando noi affrontiamo il problema del governo del territorio dobbiamo riferirci in maniera molto stringente ai modelli (normativi e comportamentali) che il nostro specifico sistema sociale adotta per regolare i propri rapporti con il sistema ambientale. È evidente che questo assunto pone dei problemi non irrilevanti rispetto alla questione dello studio e della valutazione dei processi di trasformazione del territorio, dovendosi preliminarmente determinare il sistema dei valori che rende significative le metriche che si intende adottare.

Per chiarire questo concetto si pensi, ad esempio, al problema della valutazione della sostenibilità dello sviluppo; nel mondo occidentale una misura comunemente adottata in questa prospettiva è quella relativa alla diminuzione dei consumi energetici; potremmo adottare la stessa metrica nei confronti dei paesi in via di sviluppo?

La seconda è che il territorio non è mai un contemporaneo dei processi che regolano la relazione tra uomo e ambiente, ma piuttosto esso è l'esito di



processi che si sono svolti in un tempo precedente. In altre parole ciò indica che le modalità con cui le società regolano le proprie relazioni con l'ambiente nel momento presente condizionano il "territorio" del tempo futuro.

Assumere questa prospettiva produce rilevantissimi esiti rispetto all'approccio conoscitivo che noi dobbiamo adottare per governare i cambiamenti in una prospettiva di sostenibilità, poiché sposta l'attenzione dallo studio dell'oggi all'analisi degli effetti futuri di ciò che oggi regola il nostro rapporto con il territorio.

### **3.3 Rischio**

Nel quantificare operativamente il rischio, numerose possono essere le interpretazioni ed i metodi di valutazione. L'approccio più ampiamente condiviso a livello internazionale fa riferimento al rapporto dell'Unesco riguardante i fenomeni franosi (Varnes, 1978), in cui vengono assunte le seguenti definizioni:

#### **Pericolosità (hazard)**

Esprime la probabilità che un dato fenomeno potenzialmente distruttivo si verifichi

- con una certa intensità
- in una determinata area
- in un dato intervallo di tempo

Può essere espressa in una scala percentuale da 0% (nessuna probabilità di accadimento) e 100% (certezza dell'accadimento).

#### **Vulnerabilità (vulnerability)**

Esprime la propensione di un certo elemento (popolazione umana, edifici, infrastrutture, attività economiche, servizi, beni naturali e culturali,...) ad essere danneggiato da un dato fenomeno a cui l'elemento stesso è esposto. Può essere espressa in una scala percentuale da 0% (nessuna vulnerabilità) e 100% (vulnerabilità totale).

La vulnerabilità è quindi una misura della fragilità, della impossibilità di resistere ad un evento calamitoso da parte di un elemento esposto in funzione delle proprie caratteristiche.

### **Valore o valore esposto o esposizione o elementi a rischio (element at risk)**

Costituisce l'insieme degli elementi a rischio presenti nell'area esposta all'evento, quantificati in termini relativi (valore venale) o assoluti (numero di persone, di edifici, di strade,...)

### **Rischio (risk)**

Indica il livello atteso di perdita (vite, proprietà, capacità produttive, funzionalità del territorio) dovuto al verificarsi di un fenomeno pericoloso in un certo luogo, in un certo tempo e con una certa intensità, la cui valutazione implica la quantificazione della seguente relazione:

$$\text{Rischio} = \text{Pericolosità} \times \text{Vulnerabilità}$$

E' possibile distinguere un rischio specifico, riferito cioè ad una singola categoria di elementi esposti, da un rischio totale, in relazione a tutti i diversi elementi considerati.

Viene definito da Varnes "Rischio totale" la stima delle perdite conseguenti l'evento in termini sia di vite umane che economici (perdita di efficienza del sistema

$$\text{Rischio totale} = \text{Pericolosità} \times \text{Vulnerabilità} \times \text{Valore}$$

Tale valutazione è dunque necessariamente basata sull'analisi del carico urbanistico inteso negli aspetti demografici, occupazionali, abitativi, storico artistici e dei servizi.

## **3.4 Sicurezza Territoriale**

Per sicurezza si intende la condizione di ciò che è sicuro, di ciò che consente di prevenire o attenuare rischi.

Il termine sicurezza (dal latino "sine cura": senza preoccupazione) può essere definita come la "conoscenza che l'evoluzione di un sistema non produrrà stati indesiderati".

In termini più semplici è: sapere che quello che faremo non provocherà dei danni<sup>6</sup>.

Nella lingua italiana, come in altre lingue, il termine sicurezza non viene molto bene differenziato da quello di prevenzione; ciò porta spesso a non distinguere ciò che è non sicuro a causa di possibili eventi ineluttabili da ciò che invece può essere, se non previsto, almeno prevenuto tramite le azioni umane.

---

<sup>6</sup> Wikipedia

Il termine sicurezza territoriale può essere coniato attraverso la sovrapposizione delle definizioni di:

- sicurezza: conoscenza che l'evoluzione di un sistema non produrrà stati indesiderati,
- territorio: come realtà controllata e modificata dalle società.

Per sicurezza territoriale si intende quindi la condizione di esistenza e di evoluzione del sistema territoriale (stato e variazioni dell'ambiente umano, stato e variazioni dell'ambiente naturale, stato e variazioni delle interazioni tra i due ambienti precedenti) in grado di assicurare la perenne assenza di rischio (Ioannilli, 2011).

Dalle definizioni precedenti (rischio, sicurezza territoriale) emerge che perché un rischio non esista (in un dato luogo, in un dato tempo) è necessario che:

- non esista, in quel luogo ed in quel tempo, una pericolosità (assenza di pericolosità)

ovvero

- che, esistendo in un dato luogo e ad un dato tempo una data pericolosità, non siano presenti nel medesimo luogo e tempo elementi territoriali vulnerabili (assenza di esposizione)

È del tutto evidente che per garantire la sicurezza territoriale sarebbe necessario garantire l'esistenza di una delle due precedenti condizioni per ogni fattore di pericolosità, per ogni luogo ed in ogni tempo (stato di evoluzione) del sistema territoriale.

È altrettanto del tutto evidente che l'ipotesi precedente non è realistica; questo implica che dobbiamo riformulare il concetto di sicurezza territoriale nel modo seguente:

condizione di esistenza e di evoluzione del sistema territoriale (stato e variazioni dell'ambiente umano, stato e variazioni dell'ambiente naturale, stato e variazioni delle interazioni tra i due ambienti precedenti) in grado di assicurare il minimo livello di rischio (Ioannilli, 2011).

### **3.5 La prevenzione del rischio e la sicurezza territoriale**

Se si ammette di voler minimizzare il rischio, date le assunzioni precedenti, e tenendo conto che la variabile di manovra è costituita dal controllo delle relazioni che l'uomo stabilisce con lo spazio, è del tutto evidente che si può:

- operare sul versante del fenomeno calamitoso (ove possibile), cercando cioè di rimuovere le cause che generano il fenomeno

- operare sul versante dei beni esposti, cercando di disaccoppiare i due termini del rischio e cioè facendo in modo che in luoghi potenzialmente esposti a fenomeni pericolosi non rimovibili non siano collocati beni vulnerabili da quei fenomeni.

Tali azioni devono essere riferite a qualunque condizione di potenziale pericolosità e debbono essere condotte tenendo conto delle interazioni che le diverse componenti del sistema territoriale stabiliscono tra di loro e della conseguente capacità di tali interazioni di interferire sulla configurazione dei due termini precedenti (pericolosità ed esposizione).

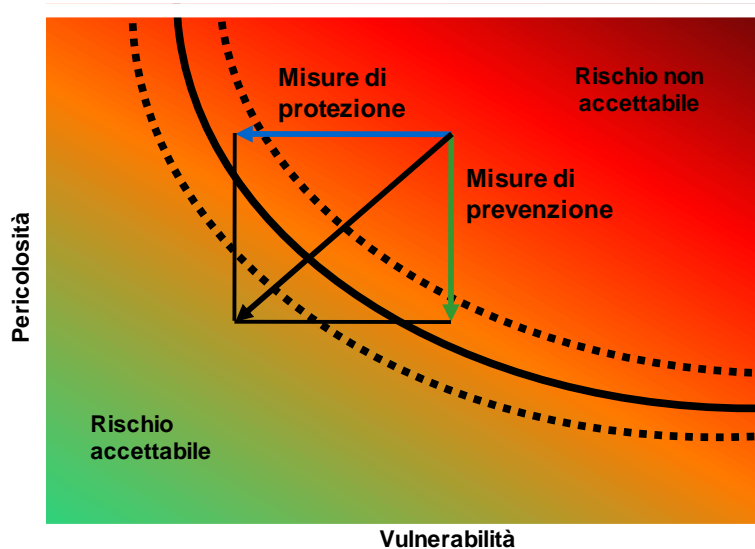


Fig. 5. Curva di accettabilità del rischio

Se si assume come corretta la sua definizione, la sicurezza territoriale può essere garantita operando sulle relazioni che l'uomo intrattiene con lo spazio e cioè mediante le leggi che regolano tali relazioni.

Ciascun soggetto ha a disposizione degli strumenti di pianificazione e programmazione ordinati tra loro in modo da raggiungere un obiettivo.

Un piano, tuttavia, non ha una capacità attiva di generare una trasformazione ma può essere in grado di porre alcuni vincoli attraverso i quali ottenere ciò. Il piano quindi diventa un programma di azioni rivolte alla trasformazione del territorio.

A tal riguardo possiamo definire la prevenzione strutturale come un obiettivo che Soggetti ed Enti dotati di una reale capacità, normativa ed operativa, devono perseguire attraverso una programmazione degli interventi sul territorio volti a

rimuovere le cause del pericolo o a pianificare l'uso del territorio in maniera coerente:

- programmare interventi sul territorio volti a rimuovere le cause del pericolo: questo è il caso delle Autorità di Bacino che, intervenendo sugli alvei fluviali e sui bacini idrografici tendono a rimuovere le cause delle esondazioni che, come è noto, non sono legate tanto al manifestarsi di fenomeni atmosferici eccezionali quanto, piuttosto, alla incapacità degli alvei fluviali, sottoposti a errata utilizzazione e scarsa manutenzione, di smaltire afflussi straordinari;
- pianificare l'uso del territorio in maniera coerente: questo è il caso degli Enti territoriali come le Regioni, le Province e, soprattutto, i Comuni che normano tale uso, ciascuno al proprio livello, all'interno dei propri strumenti di pianificazione.

Dai precedenti esempi si evince come la *prevenzione strutturale riferisce direttamente ai processi di gestione del sistema territoriale*.

La prevenzione strutturale si discosta notevolmente da una seconda tipologia di prevenzione che può essere definita operativa e che comprende tutte quelle attività che debbono essere svolte nel momento in cui si è in procinto di assistere al manifestarsi di un evento calamitoso, e solo quando tale evento sia preceduto da fenomeni precursori che possano essere misurati e monitorati nello spazio e nel tempo.

L'obiettivo della prevenzione operativa è quindi quello di minimizzare il danno intervenendo sui beni esposti (ad esempio con delle evacuazioni) o su alcuni caratteri del fenomeno calamitoso (ad esempio il rafforzamento degli argini di un fiume).

I Soggetti che agiscono in questa seconda prospettiva sono quelli che vengono comunemente definiti "Soggetti operativi della Protezione Civile" (corpi di Protezione Civile locale, VVF, volontari etc.).

Come si può derivare da questa breve disamina, è del tutto evidente come la definizione degli obiettivi della prevenzione debba essere articolata quantomeno in due segmenti; uno riferito al tempo di pace, in cui i Soggetti e gli Enti territoriali operano in maniera strutturale rispetto al rischio, ed uno riferito allo stato di pre-allerta ed allerta in cui i Soggetti operativi agiscono per minimizzare il danno.

In tempo di pace risulta evidente come svolgere le attività finalizzate al perseguimento della prevenzione strutturale risultano essere strategiche rispetto a

quelle che possono portare alla prevenzione operativa e che possono limitarsi al monitoraggio del territorio.

Un ultimo elemento va tenuto in considerazione: il territorio è un sistema (si veda nel seguito per la definizione di tale concetto), in cui le componenti interagiscono tra loro.

Se si adotta un approccio sistemico alla analisi del rischio, lo stesso concetto di sicurezza territoriale ne risulta condizionato e complessificato poiché:

- un pericolo può essere generato da molteplici cause,
- non sempre un pericolo è prevedibile e tutte le potenziali condizioni di pericolo sono rilevanti per la sicurezza territoriale,
- un pericolo può trasmettersi all'interno del sistema territoriale ingenerando altri pericoli e quindi condizioni di rischio per molteplici elementi, anche non direttamente esposti ad essi,
- gli elementi territoriali sono quindi tutti potenzialmente esposti ad una qualche tipologia di rischio e quindi devono essere caratterizzati secondo molteplici tipologie di vulnerabilità.

Volendo disaccoppiare i termini di vulnerabilità e di pericolosità, con lo scopo di minimizzare il rischio e ricondurlo all'interno di un livello di accettabilità condivisa, è necessario agire sul versante delle cause dei fenomeni pericolosi o su quello della esposizione degli elementi vulnerabili

La possibilità di operare in tal senso deve essere rintracciata all'interno dell'apparato normativo che definisce i soggetti, le competenze, le funzioni e le attività che possono essere utilizzate.

**L'APPROCCIO CANONICO ALLA STIMA DEL RISCHIO**

#### 4 METODI DI STIMA DEL RISCHIO

Volendo adottare un approccio analitico rigoroso, ed in conseguenza delle precedenti definizioni, le analisi di rischio dovrebbero essere condotte secondo il seguente schema:

- ciascun evento potenzialmente calamitoso deve essere modellato per derivarne il quadro delle probabilità di accadimento (pericolosità).
- in corrispondenza alle porzioni di spazio in cui si ipotizza che il fenomeno calamitoso si manifesti vanno identificati gli elementi (naturali ed antropici) presenti
- per ciascuno degli elementi esposti va condotta una analisi di vulnerabilità rispetto al fenomeno per poter stimare il danno atteso sulla base della stima del danno atteso

Risulta quindi dimensionabile il rischio per lo specifico fenomeno calamitoso.

Nella prassi corrente, così come nei documenti ufficiali di riferimento per la costruzione dei piani di emergenza (DNPC, 2007), l'approccio che viene proposto è sempre per singolo fattore di pericolosità: incendio, esondazione, frana etc. ed il relativo Piano è quindi definito come "Piano Anti Incendio Boschivo", "Piano di Emergenza Esondazione", etc.

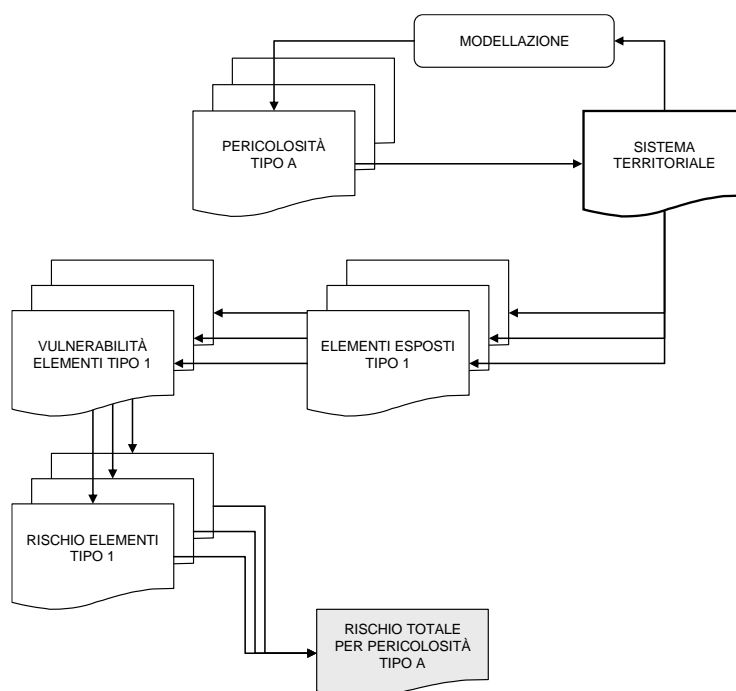


Fig. 6. Approccio canonico alla stima del rischio



#### **4.1 Analisi di pericolosità**

L'obiettivo dell'analisi è la determinazione della distribuzione in termini probabilistici di fenomeni pericolosi, in termini di identificazione tipologica, grandezza dei fenomeni (intensità/severità), fattori causali, distribuzione areale, tempi di ricorrenza.

Per individuare la distribuzione di probabilità dei fenomeni è fondamentale:

- determinare la probabilità di innesco dei fenomeni in termini di localizzazione puntuale areale utilizzando modelli empirici o deterministici;
- indicare le cause d'innesco dei fenomeni, anche in termini di soglie critiche (ad es. soglie di piovosità per l'innesco di frane e/o alluvioni; valori critici dell'accelerazione orizzontale di potenziali eventi sismici per le frane) e la probabilità che tali fattori innescanti possano variare nel tempo;
- determinare la probabilità media dell'occorrenza dei fenomeni per aree attraverso dati storici o modelli empirici.

##### **4.1.1 Metodi deterministici**

Tali metodi si basano sulla utilizzazione di modelli (fisico-matematici) che tentano di prevedere numericamente l'evoluzione di un dato fenomeno, nello spazio-tempo, attraverso la soluzione approssimata (non analitica) del sistema di equazioni matematiche che descrivono le leggi fisiche (quelle classiche della meccanica e della termodinamica) che governano il fenomeno stesso.

Per essere implementati essi richiedono che

- Il fenomeno sia completamente noto nelle leggi che lo governano e che tali leggi siano formalizzabili in termini matematici
- Sia noto lo stato di partenza, le cosiddette condizioni iniziali, attraverso il quale è possibile fornire i valori di inizializzazione delle variabili indipendenti del sistema di equazioni di cui è composto il modello stesso.

##### **4.1.2 Metodi statistici**

I metodi statistici si basano sulla analisi di serie storiche delle grandezze da predire, ed eventualmente di altre grandezze correlate, per determinarne l'andamento futuro. La teoria sulla quale si basano è puramente matematica ed è in genere completamente indipendente dal problema fisico trattato. Per questo motivo i metodi statistici sono estremamente versatili e sono largamente utilizzati.

Il concetto base utilizzato è quello di esprimere una relazione tra un set di variabili e altre, analizzando il loro andamento in un arco di tempo il più lungo possibile.

Il procedimento logico che sta alla base di questi metodi quindi è nettamente diverso da quello che sta alla base dei metodi descritti al punto precedente. Nei metodi che sfruttano l'analisi multivariata l'analista, nell'assunzione che i siti scelti rappresentino un campione significativo di tutte le aree omogenee presenti sul territorio, mediante le tecniche della regressione e dell'analisi discriminante cerca di individuare una funzione matematica che permetta di effettuare una valutazione della pericolosità su tutta la zona di studio.

Un tipico caso di applicazione di questo tipo di analisi è quello che concerne la valutazione della pericolosità da frana.

In questo caso l'analisi di tipo statistico si articola in più fasi.

Per determinare i fattori rilevanti nell'analisi, in una prima fase si eseguono una serie di analisi di correlazione a singolo fattore con un Inventario dei Fenomeni Franosi, con lo scopo di determinare quali di essi sono realmente rilevanti per lo studio di suscettività e soprattutto quale è il peso che gli andrà attribuito, e quindi il grado di rilevanza dello stesso.

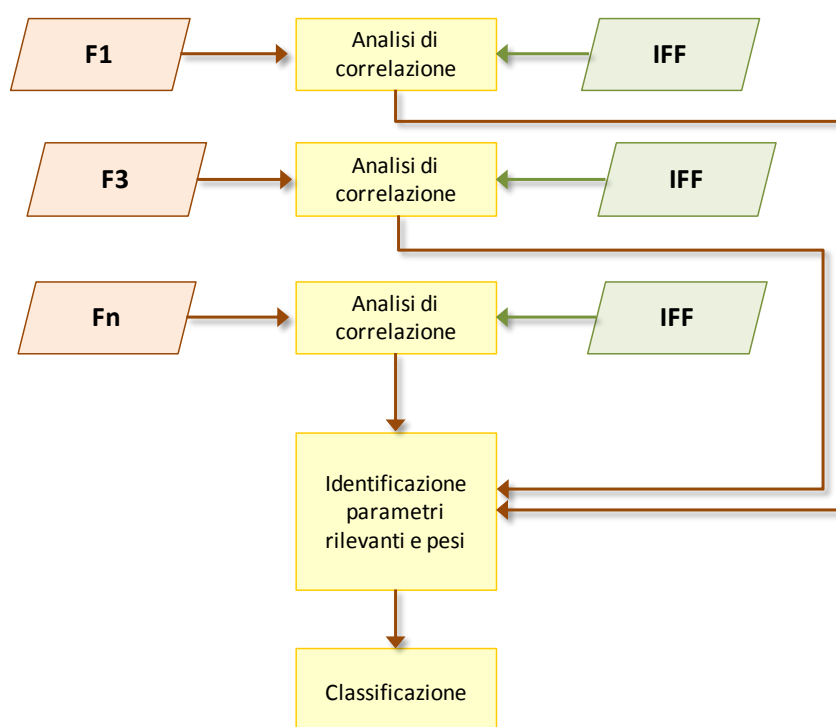


Fig. 7. Flow-sheet del metodo statistico

Ciò permette di eliminare dall'analisi quei fattori che non risultano in nessun modo correlati all'Inventario; tra quelli che offrono percentuali di correlazione accettabili, si potrà quindi attribuire un peso più elevato a quei fattori che risultano essere maggiormente correlati ai fenomeni considerati.

Una volta arrivati ad una chiara definizione dei fattori di instabilità e dei relativi pesi, si potranno incrociare i risultati ottenuti, arrivando ad una classificazione del territorio in base al maggiore o minor grado di suscettività ai fenomeni franosi.

Una ultima fase analitica è quella che verifica la correlazione tra la classificazione ottenuta e l'effettiva distribuzione dei fenomeni franosi.

Utili riferimenti, in tale contesto, sono i lavori di Carrara (Carrara, Landslide hazard mapping: aims and methods, 1984) (Carrara, et al., 1985) e Guzzetti (Carrara, et al., 2001).

La preliminare determinazione dei fattori che in qualche modo influiscono nel creare instabilità di versante è tra i punti a favore di quest'approccio; l'aspetto negativo principale è che si parla di un metodo che non tiene conto in nessun modo delle possibili e sostanzialmente certe relazioni esistenti tra i vari fattori, in quanto essi vengono correlati uno ad uno con l'inventario delle frane.

#### **4.1.3 Metodi empirici**

Rientrano in questa categoria tutti i metodi nei quali la determinazione della pericolosità non avviene tramite l'applicazione di una formula, ma attraverso considerazioni qualitative effettuate su alcuni parametri scelti come condizionanti (es. nel caso delle frane: aree con litotipi argillosi caratterizzate da inclinazione dei versanti  $>30^\circ$ : pericolosità elevata; aree con litotipi argillosi caratterizzate da inclinazione dei versanti compresa fra  $20^\circ$  e  $30^\circ$ : pericolosità intermedia, ecc).

Schema operativo mediante cui i metodi empirici vengono applicati è normalmente il seguente:

1. scelta dei fattori ritenuti rilevanti per l'ingenerarsi di un fenomeno pericoloso;
2. suddivisione di ogni fattore in un adeguato numero di classi;
3. attribuzione di un peso a tutte le classi di ogni fattore;
4. attribuzione di un peso ad ogni fattore;
5. sovrapposizione delle carte tematiche relative ad ogni fattore pesato;
6. sviluppo di una carta finale suddivisa in diverse classi di suscettibilità.

In questi metodi quasi sempre il grado di pericolosità delle varie aree omogenee non viene indicato tramite una scala numerica ma attraverso una descrizione verbale (area ad alta pericolosità per caratteristiche litologiche scadenti, area ad alta pericolosità per via dell'elevata acclività, ecc.)

Vantaggi nell'uso di tali metodi risiede principalmente nella possibilità di:

- automazione delle operazioni analitiche attraverso l'uso di strumenti informatici a base geografica
- standardizzare le procedure analitiche
- applicare tale metodologia a qualunque scala.

D'altro canto questo metodo presenta alcuni svantaggi quali, ed esempio:

- soggettività con la quale i fattori sono scelti e pesati all'interno del modello analitico
- difficoltà di estrapolare un modello applicato ad una particolare zona ad altri contesti.

Metodologie di questo tipo in Italia sono state peraltro adottate frequentemente dalle Autorità di Bacino, come nel caso delle Autorità dei Bacini Regionali Liguri o in quello adottato dalla Regione Emilia Romagna per la realizzazione di una carta della propensione al dissesto idrogeologico (Regione Emilia Romagna, 2002).

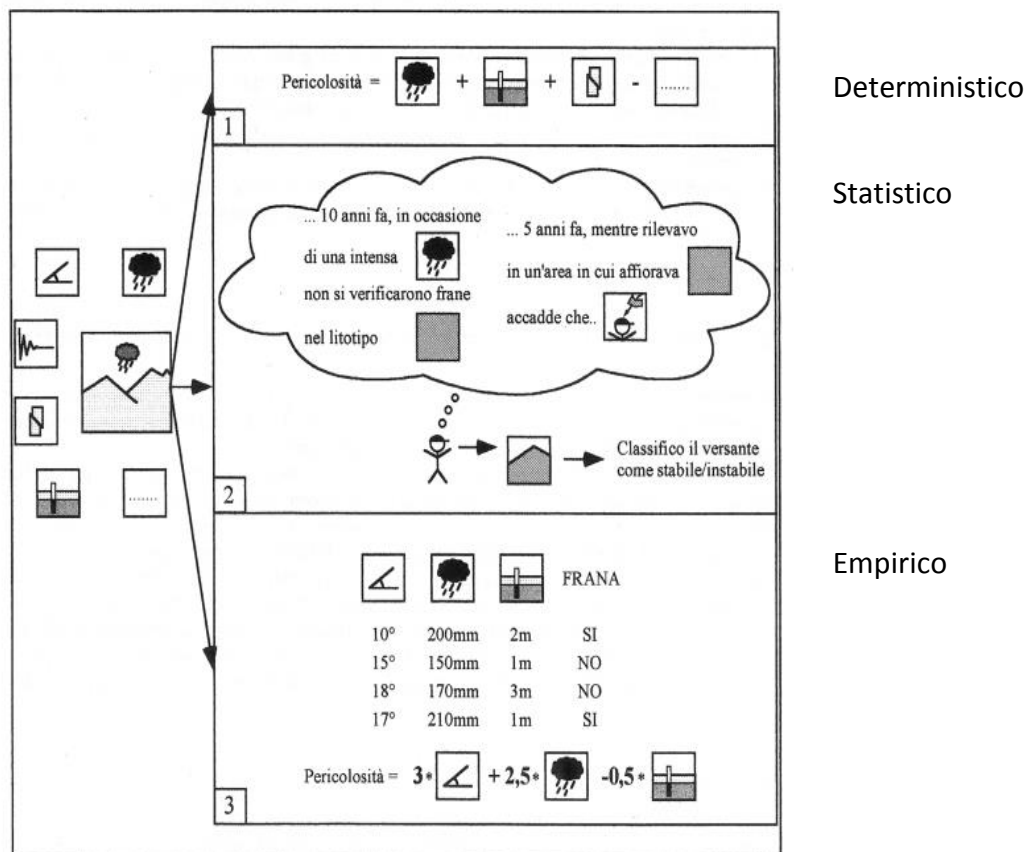


Fig. 8. Metodi di stima della pericolosità connessa ai fenomeni franosi (da idrogeologia.net)

## 4.2 Analisi di vulnerabilità

Lo studio della vulnerabilità consiste essenzialmente di due fasi complementari. La prima comprende l'interazione tra fenomeno pericoloso e gli elementi vulnerabili esposti, in modo da definire una funzione del danno.

La seconda determina le disfunzioni causate da tale danneggiamento, dirette o indirette oppure immediate o accadute dopo qualche tempo. Le funzioni di danneggiamento sono specifiche per ogni tipologia di elemento (es. persone, abitazioni, infrastrutture) e dipendono dal fenomeno in questione (tipologia di frana, evento alluvionale). Si esprimono come percentuali di danneggiamento per una data intensità e per data tipologia di evento (da 0 a 100%).

Assumendo il concetto di vulnerabilità come la propensione di un certo elemento (popolazione umana, edifici, infrastrutture, attività economiche, servizi, beni naturali e culturali,...) ad essere danneggiato da un dato fenomeno a cui l'elemento stesso è esposto, diremo che essa è quindi una misura della fragilità, della impossibilità di resistere ad un evento calamitoso da parte di un elemento esposto in funzione delle proprie caratteristiche

In generale, un elemento può risultare vulnerabile:

- Ad un evento calamitoso - **vulnerabilità primaria**  
ad esempio: una persona esposta ad un sisma presenta una vulnerabilità, definita nel dominio fisico, che misura la sua propensione ad essere "vittima" dell'evento (una persona con disabilità è più vulnerabile di una persona abile)
- Alle conseguenze di un evento calamitoso - **vulnerabilità secondaria**  
ad esempio una persona coinvolta in un sisma, ma che non ne abbia subito immediatamente un danneggiamento, può però subire un successivo danno, ad esempio di tipo psicologico

### 4.2.1 Metodi analitici

I metodi analitici sono quelli che si applicano nel confronto diretto tra:

- Uno specifico fenomeno calamitoso (ad esempio sisma) di cui sia stata stimata la pericolosità
- Uno specifico elemento del sistema territoriale (ad esempio fabbricati).

In questo caso si parla, ad esempio, di vulnerabilità sismica dei fabbricati intendendo con ciò l'intrinseca propensione di un fabbricato a subire un certo grado di danneggiamento a causa degli effetti di un terremoto di prefissata severità

Per il calcolo analitico della vulnerabilità di un dato elemento occorre:

- enumerare i diversi caratteri dell'elemento adottando un criterio di attinenza rispetto all'evento
- riconoscere quali sono i caratteri che presentano maggiore rilevanza rispetto all'evento
- misurare quei caratteri
- eventualmente pesarli
- ottenere un indice di vulnerabilità

Nell'esempio del pericolo sismico, si riporta un quadro di sintesi degli elementi caratterizzanti un edificio potenzialmente di interesse per la stima della vulnerabilità.

Carattere	Attinenza	Rilevanza
Tipo di struttura	si	4
Tipo di fondazioni	si	3
Età del fabbricato	si	1
Numero di Piani	si	2
Colore	no	-

Tab. 1. Attinenza e rilevanza degli elementi vulnerabili al pericolo sismico

I vantaggi insiti nell'uso di metodi analitici nella stima della vulnerabilità risiedono principalmente nel fatto che essi sono piuttosto precisi e che restituiscono, in generale, risultati molto attendibili.

Gli svantaggi sono invece legati al fatto che essi sono molto complessi da definire e che per la loro implementazione si rende necessario conoscere con sufficiente precisione il complesso degli elementi che risultano esposti ad un dato pericolo. Ciò rimanda a problemi connessi alla capacità di determinare (prevedere) il rapporto tra ambiti di potenziale pericolosità ed elementi vulnerabili ad essi esposti (scenario di rischio) di cui si tratterà più avanti.

#### **4.2.2 Metodi tipologici**

Alla base di questi metodi sta il fatto che tutti gli elementi del territorio vengono raggruppati in classi caratterizzati da indicatori con lo scopo di rendere le classi omogenee tra loro. Tali indici di vulnerabilità della classe vengono determinati a partire dai caratteri intrinseci degli elementi.

Per ottenere ciò risulta ovvia l'esigenza di generalizzare il territorio con conseguente semplificazione della stima di vulnerabilità.

I metodi tipologici si basano, in generale, sulla definizione di:

- classi di elementi
- caratterizzati da indicatori tipologici o funzionali omogenei
- determinati sulla base di caratteri "intrinseci" degli elementi
- a cui associare un indice di vulnerabilità

#### **4.2.3 Metodi qualitativi**

In alcuni casi si adottano metodi speditivi basati essenzialmente su giudizi di valore. Per ovviare alla mancanza di informazioni ed alle difficoltà descritte nel modellare il rischio mediante la formulazione teorico-quantitativa, vengono assunti, in molti lavori, criteri empirici di valutazione della vulnerabilità e della scala di valore tra gli elementi esposti.

E' questo il caso ad esempio delle modellazioni del rischio idrogeologico, per cui la stessa normativa nazionale, nel DPCM 29 settembre 1998 (Atto di indirizzo e coordinamento in attuazione del D.L.180/98) al punto 2.1 "Criteri generali", afferma che si dovrà far riferimento alla formulazione di Varnes solo per l'individuazione dei fattori che determinano il rischio *"senza tuttavia porsi come obiettivo quello di giungere ad una valutazione di tipo strettamente quantitativo"*.

A titolo di esempio sembra quindi utile citare la metodologia scelta dall'Autorità di Bacino del Tevere nel Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico in cui a proposito del rischio idraulico e della formulazione di Varnes si dichiara che:

*"Il concetto di vulnerabilità di un bene come sopra definito, è estremamente puntuale e dipende da valori che, per la grande articolazione dei beni esposti individuata non sono determinabili se non in modo ipotetico; esso non è pertanto applicabile compiutamente alla scala dell'intero bacino idrografico. Ma nella impossibilità di valutare significativamente in termini economici tutte le diverse tipologie di beni esposti distribuiti all'interno delle fasce di esondazione nonché la loro vulnerabilità, il PAI ha assunto come elemento di valutazione del valore del bene e della sua vulnerabilità, la possibilità di perdita di vite umane in relazione alle specifiche destinazioni d'uso dei beni distribuiti sul territorio; la valutazione si articola in quattro gradi di sensibilità:*

- 1. molto elevata (ME),*
- 2. elevata (E),*
- 3. media (M),*
- 4. bassa (B)."*

TIPOLOGIA DEI BENI ESPOSTI E SENSIBILITA' (PAI, ABT)	
BENE ESPOSTO	SENSIBILITÀ
Edificato continuo	ME (100)
Edificato discontinuo	ME (100)
Ospedali	ME (100)
Scuole	ME (100)
Caserme	ME (100)
Edificato industriale commerciale artigianale	E (80)
Aeroporti	E (80)
Stazioni ferroviarie	E (80)
Aree per deposito e stoccaggio	E (80)
Protezione civile	E (80)
Impianti sportivi	E (80)
Depuratori	M (50)
Discariche	M (50)
Centrali elettriche	ME (100)
Cimiteri	B (20)
Verde attrezzato	B (20)
Seminativi irrigui	B (20)
Seminativi asciutti	B (20)
Colture orticole	B (20)
Vigneti	B (20)
Oliveti	B (20)
Frutteti	B (20)
Colture florivaistiche e serricoltura	B (20)
Colture specializzate	B (20)
Colture miste	B (20)
Aree per impianti zootecnici	B (20)
Impianti arborei lineari	B (20)
Masse boscate	B (20)
Arbusteti e cespuglieti	B (20)
Prati pascolo	B (20)
Boschi ripariali	B (20)
Specchi d'acqua	B (20)
Aree in trasformazione/costruzione	B (20)
Aree nude	B (20)
Cave ed impianti di lavorazione	B (20)

Tab. 2. Valutazione qualitativa della vulnerabilità degli elementi esposti (fonte PAI Tevere)

I principali limiti dell'approccio utilizzato dall'Autorità di Bacino possono rintracciarsi nei seguenti elementi:

- non considera i potenziali danni agli elementi territoriali, ma solo la potenziale perdita di vite umane;
- non contiene alcuna diversificazione interna degli elementi di una stessa tipologia. Ciò significa ipotizzare un pari potenziale danno per tutti gli elementi di uno stesso tipo coinvolti dall'evento esondativo, indipendentemente sia da una descrizione quantitativa dell'elemento (es. volume edificato) sia dalle sue caratteristiche qualitative (es. tipologia di struttura di un edificio, età della popolazione esposta);
- non definisce valutazioni quantitative o spaziali sull'importanza sistemica del singolo elemento rispetto ad un altro della stessa tipologia o di tipologie differenti;
- nell'ipotesi di estendere tale metodo all'analisi di molteplici eventi, sembra difficile poter definire un procedimento in grado di pesare il potenziale danno prodotto da un evento con quello di un evento differente senza disporre di alcuna informazione di tipo quantitativo.



**CRITICITÀ CONNESSE ALLA STIMA DEL RISCHIO TERRITORIALE**

---

## 5 LA NATURA SISTEMICA DEL RISCHIO

### 5.1 Territorio come Sistema

Volendo definire secondo un approccio sistemico il concetto di territorio, potremmo qualificarlo nel seguente modo:

*"complesso delle componenti (umane e ambientali) che interagiscono all'interno di uno spazio fisico stabilendo delle **relazioni orizzontali (funzionali) e verticali (fisiche)** per permettere al sistema territoriale di evolvere"* (Ioannilli, 2012).

Le componenti del sistema territoriale (umana e ambientale) possono a loro volta essere viste come sistemi di sistemi all'interno dei quali interagiscono, secondo regole variabili nel tempo, specifiche componenti.

In un piuttosto recente **approccio** di tipo **ecologico** (Cashdan, 1983), **la componente umana** (il sistema sociale) è descritta mediante la sua articolazione in componenti raggruppate all'interno quattro sottosistemi fortemente interrelati tra loro e che, complessivamente, determinano il comportamento del Sistema Sociale nel suo complesso.

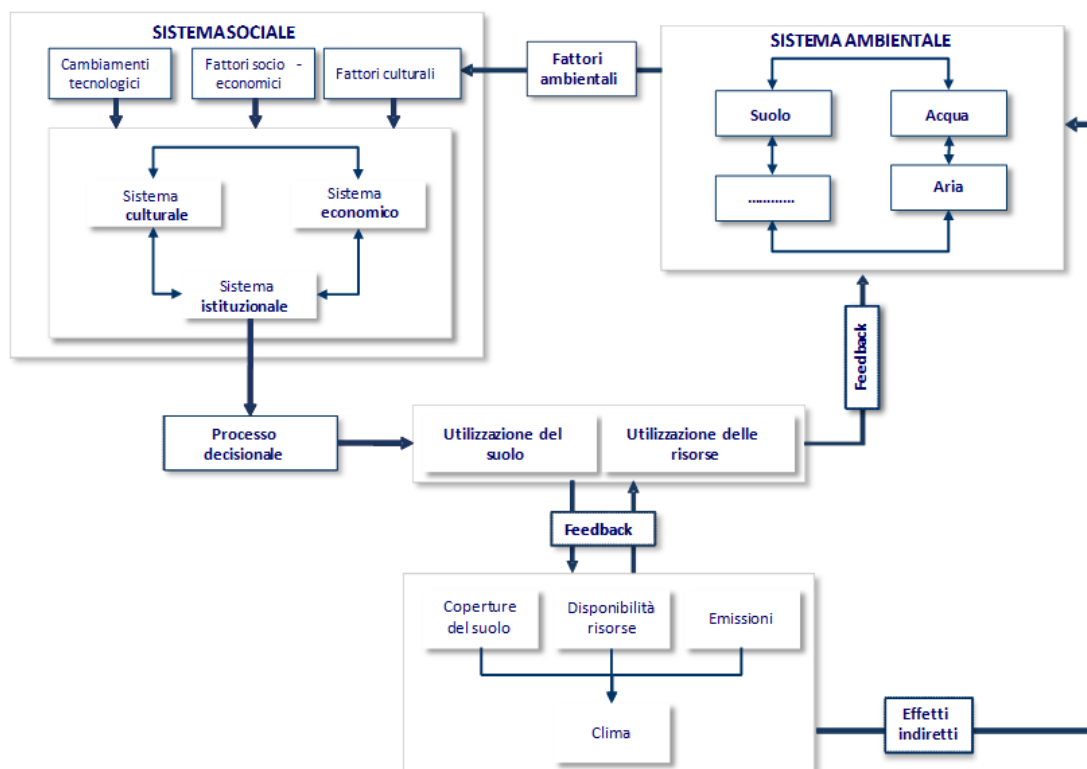


Fig. 9. Il funzionamento del Sistema Territoriale

Tali sottosistemi sono quelli: culturale, economico, istituzionale e tecnologico. Ciascuno di essi si manifesta a sua volta come sistema complesso, costituito cioè da una molteplicità di componenti variamente relazionate.

Analogamente, il Sistema Ambientale è definibile come sistema di componenti analizzabili, a loro volta, come (sotto)sistemi; anche in questo caso ciascun sottosistema è costituito da una molteplicità di componenti interagenti tra loro, ed anche in questo caso possiamo parlare di **relazioni orizzontali** che legano le diverse componenti ed influenzano la configurazione complessiva del Sistema Ambientale.

Le interazioni tra questi due sistemi sono costituite, in generale, dai processi di utilizzazione, da parte dell'uomo, delle risorse che costituiscono il Sistema Ambientale. La manifestazione più evidente di tali processi di interazione è quella che si manifesta in relazione alle "utilizzazioni dei suoli".

È però evidente che i processi di feedback provenienti dal Sistema Ambientale (che viene trasformato dall'intervento umano ma anche da fattori propri) possono fornire delle indicazioni al Sistema Sociale che, in conseguenza della rilevanza che ai singoli fattori viene riconosciuta, li utilizza per influenzare le proprie modalità di relazionamento con il Sistema Ambientale stesso.

Le leggi che regolano le interazioni tra il Sistema Sociale ed il Sistema Ambientale sono normalmente definite all'interno di riferimenti (ordinamentali o regolamentari) che trovano il loro fondamento nella legislazione; essi sono fortemente dipendenti dalle caratteristiche del Sistema Sociale che li origina e possono quindi variare nel tempo.

Gli strumenti operativi mediante cui si esprimono le relazioni tra il Sistema Sociale ed il Sistema Ambientale assumono di norma (nel nostro contesto specifico) la forma di Piani o di Programmi. Tali strumenti contengono e documentano le decisioni pubbliche che complessivamente realizzano quello che comunemente chiamiamo processo di gestione del territorio<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> Per un approfondimento degli argomenti connessi alle leggi, ai soggetti ed agli strumenti di governo del territorio si veda il lavoro dell'ing. Maurizio Ambrosanio.

## 5.2 Il rischio sistemico

Sino a questo momento, parlando di rischio, abbiamo implicitamente assunto il concetto che esso derivi dalla relazione (spaziale) diretta tra un areale di pericolosità e la presenza, in quell'aerale, di elementi del Sistema Territoriale vulnerabili a quella pericolosità (elementi esposti).

Questa tipologia di rischio può essere definita locale.

Avendo però centrata l'attenzione sul "Sistema Territoriale", ed avendolo definito complesso di elementi (Umani, Ambientali) tra loro interagenti, ne consegue che nella valutazione degli effetti di un evento calamitoso è indispensabile considerare non solo la presenza delle singole entità territoriali esposte ad un determinato pericolo, ma anche il complesso delle relazioni funzionali intercorrenti tra loro perché l'esistenza di tali relazioni potrebbe generare un rischio in elementi anche sensibilmente distanti dagli areali di pericolo diretto, ma funzionalmente connessi con specifiche tipologie di elementi colpiti direttamente dall'evento.

Questa tipologia di rischio può essere definita sistemica.

Secondo i principi dell'approccio sistemico, quindi, la pericolosità legata al manifestarsi di un evento calamitoso non può essere valutata in funzione esclusiva della fenomenologia propria dell'evento potenzialmente calamitoso poiché:

- se è vero che un pericolo è determinato dalla combinazione di diversi fattori causali,
- esso agisce su date parti del territorio modificandone la configurazione;
- il territorio, data la sua natura sistemica, può alterare a sua volta la configurazione del pericolo:
- amplificandone la magnitudo
- trasmettendo, per il tramite delle relazioni fisiche e funzionali intercorrenti tra le componenti direttamente vulnerate dal pericolo ed il resto del sistema, il pericolo stesso eventualmente coinvolgendo e modificando lo stato di ulteriori componenti del sistema.
- Inoltre, la modificata configurazione delle diverse componenti del sistema può agire come fattore causale per la generazione di ulteriori pericoli.

A New Orleans la maggior parte dei morti (più di 1000) sono stati causati non da Katrina, ma dall'alluvione innescatasi a seguito della rottura degli argini. A sua volta l'alluvione ha innescato una serie di eventi secondari come incidenti industriali, 200 rilasci di sostanze tossiche e olio e siti contaminati.

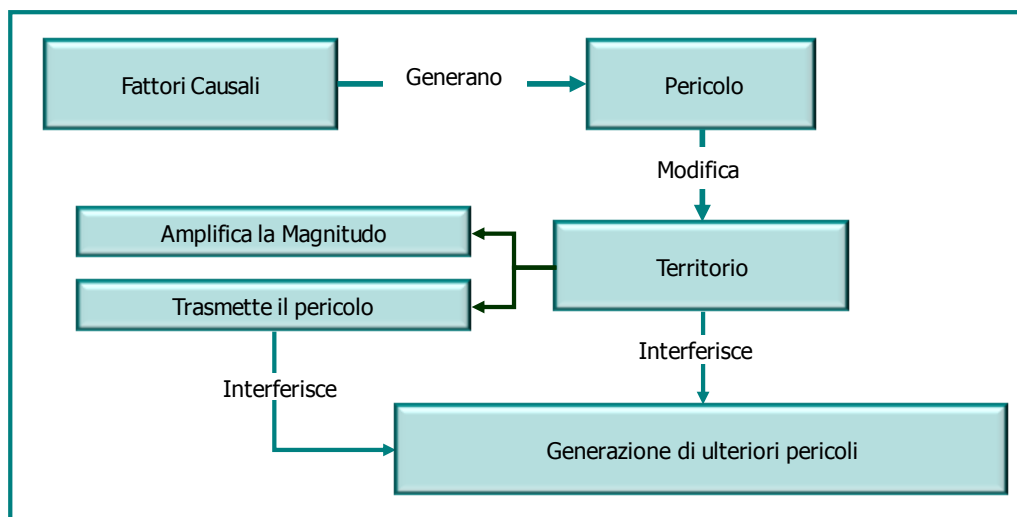


Fig. 10. *Approccio sistemico all'analisi del rischio*

Alcuni elementi del Sistema Territoriale manifestano una particolare capacità di propagare nel sistema gli effetti di un evento pericoloso, a causa della loro elevata capacità di interagire con altri elementi del Sistema, potrebbero essere definiti elementi strategici.

Tra le tipologie di elementi che potrebbero essere considerati vi sono:

- le infrastrutture viarie,
- la rete elettrica (inclusi gli elementi puntuali, quali cabine di trasformazione,...),
- la rete dell'acqua potabile (inclusi gli elementi puntuali, quali impianti di sollevamento, potabilizzatori, serbatoi di accumulo,...)
- gli elementi che costituiscono potenziali risorse in caso di emergenza, quali ospedali, strutture di accoglienza, ecc.

L'interruzione della funzionalità degli elementi strategici risulta di notevole interesse in quanto può generare un danno rilevante (nella maggior parte dei casi maggiore rispetto al danno localizzato sull'elemento sistemico) su una molteplicità di altri elementi, incluse vite umane.

E' possibile quindi, in connessione con l'interruzione della funzionalità di un elemento strategico, definire un rischio sistemico di differenti tipologie, in funzione dell'elemento la cui perdita di funzionalità genera il pericolo (es. rischio sistemico viabilità se l'elemento sistemico è la strada, rischio sistemico elettricità se l'elemento sistemico è un elettrodotto o una cabina elettrica, ecc.).

Per una valutazione del rischio sistemico è quindi necessario introdurre un'analisi che consenta di identificare le connessioni funzionali tra elementi strategici del territorio valutando infine il diverso livello di relazionamento del singolo elemento con tutti gli altri elementi strategici del sistema appartenenti quindi al "sottosistema strategico".

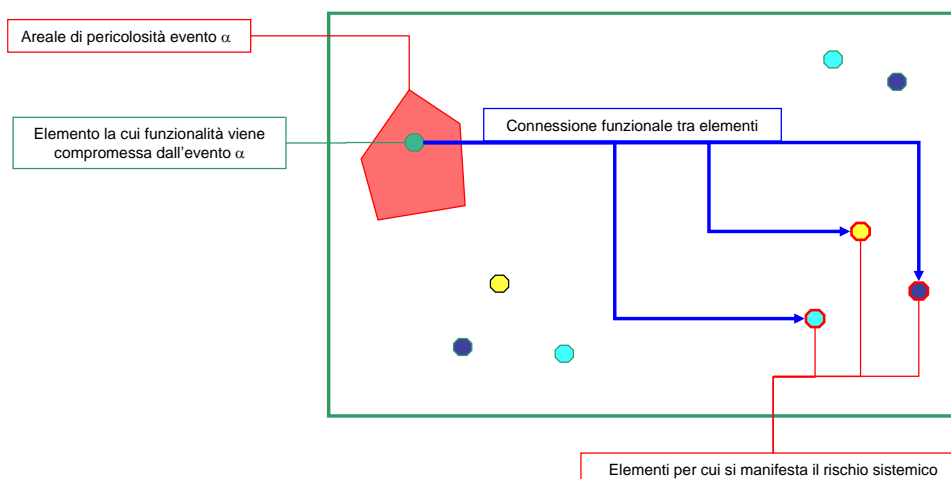


Fig. 11. *Relazionamento tra elementi strategici del sistema territoriale*

Inoltre, adottando tale approccio e tenendo conto che tutti gli elementi del sistema territoriale sono potenzialmente esposti ad una molteplicità imprevedibile di pericolosità, nasce l'esigenza di rideterminare il concetto di vulnerabilità che non può più essere assunta come capacità specifica di un dato elemento di resistere a una data pericolosità.

### 5.3 Limiti dell'approccio canonico di stima del rischio nella prospettiva della sicurezza territoriale

La valutazione del rischio, nella prospettiva della sicurezza territoriale, ha l'obiettivo di sostenere le attività di prevenzione strutturale in riferimento al complesso dei fenomeni calamitosi potenzialmente agenti sul territorio.

Ciò si traduce, adottando un approccio di tipo sistemico, nella necessità di prendere in considerazione la possibilità del verificarsi di una molteplicità di eventi e che alcuni di essi ne possano innescare altri, nonché il potenziale danno sull'intero sistema territoriale, costituito da numerosi e diversificati elementi (popolazione,

edifici, beni culturali ed ambientali, infrastrutture, reti tecnologiche,...) e complesse relazioni intercorrenti tra loro.

Le politiche preventive infatti, volte ad eliminare, o più spesso mitigare, il rischio, possono risultare più efficaci ed efficienti se si valuta che:

- ridurre il rischio di un potenziale danno strutturale o funzionale ad un elemento territoriale potrebbe far diminuire il rischio per una molteplicità di altri elementi ad esso connessi funzionalmente;
- attenuare la pericolosità legata ad un evento potrebbe ridurre la possibilità che si inneschino altri eventi;
- agire su una caratteristica di un elemento esposto potrebbe ridurre la vulnerabilità a diversi eventi;
- risultano maggiori benefici dalla riduzione del valore esposto nelle localizzazioni in cui si ha una rilevante probabilità di verificarsi di diversi eventi calamitosi.

In linea del tutto generale quindi, e dato che tutti gli eventi calamitosi potenzialmente agenti su un dato territorio generano un rischio, il processo di stima del rischio dovrebbe essere iterato per tutte le tipologie di fenomeni calamitosi potenzialmente presenti sul territorio.

Adottando l'approccio canonico e per singolo evento, quindi, si **potrebbe** pervenire ad una modellazione del rischio complessivamente agente sul territorio solo come sommatoria dei livelli di rischio legati ai diversi fattori di pericolosità.

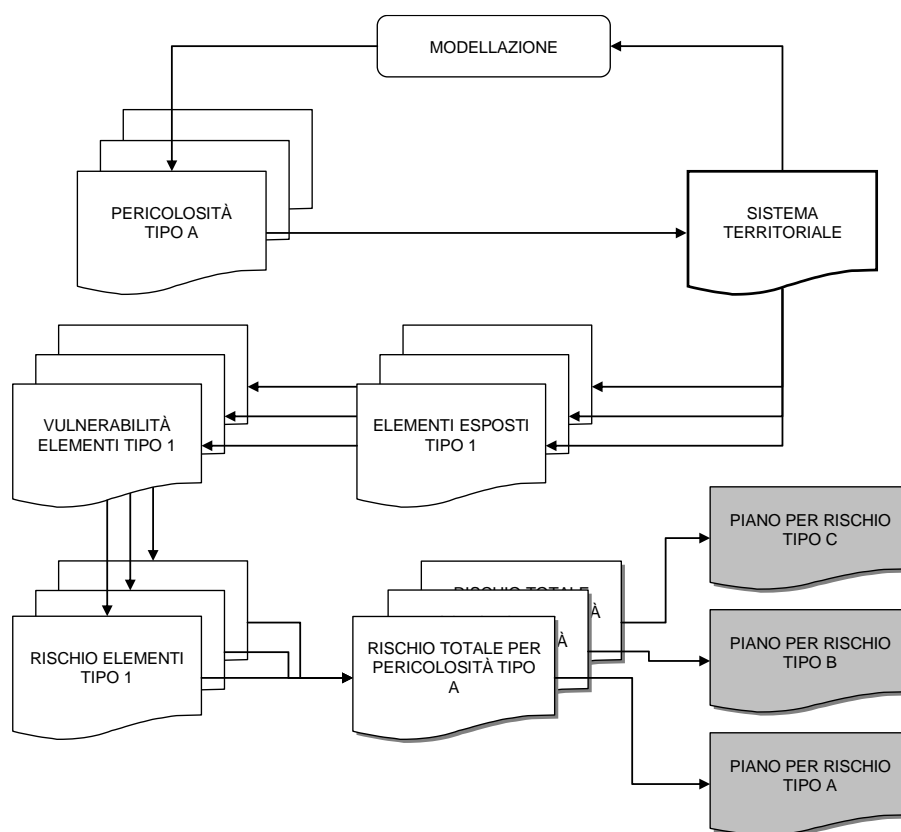


Fig. 12. *Stima del rischio complessivo agente sul territorio, nell'approccio canonico*

Questo tipo di approccio non assicura però la realizzazione di una mappatura esaustiva del rischio complessivo.

Gli scenari di rischio, infatti, possono sommersi l'uno con l'altro ma in modo esclusivamente verticale, escludendo meccanismi di mutuo innesco e interazioni che possono dar vita ad altri fenomeni pericolosi.

In altre parole, a questo approccio sfugge l'analisi di quale sia il comportamento del sistema territoriale rispetto al pericolo in esame.

Inoltre, in riferimento alle interazioni delle componenti del sistema territoriale analizzato emerge chiaramente come una tale visione si concentri in modo incompleto su un numero limitato di elementi.

Nella prospettiva quindi di prendere in considerazione una pluralità di eventi calamitosi, di elementi territoriali e di relazioni, la formulazione teorica del rischio, definita a partire dalla quantificazione delle grandezze della relazione di Varnes prima illustrata, presenta una serie di complessità, sia metodologiche che operative, legate alla valutazione strettamente quantitativa:



- della probabilità di innescarsi di eventi calamitosi a seguito di altri eventi;
- della vulnerabilità di una tipologia di elementi esposti rispetto ad un'altra in termini assoluti sia per uno stesso evento sia per tutti gli eventi considerati;
- del potenziale danno su un elemento in seguito al danno prodotto da un evento su altri elementi territoriali ad esso connessi funzionalmente;
- di una scala assoluta del valore per elementi molto differenti tra loro.

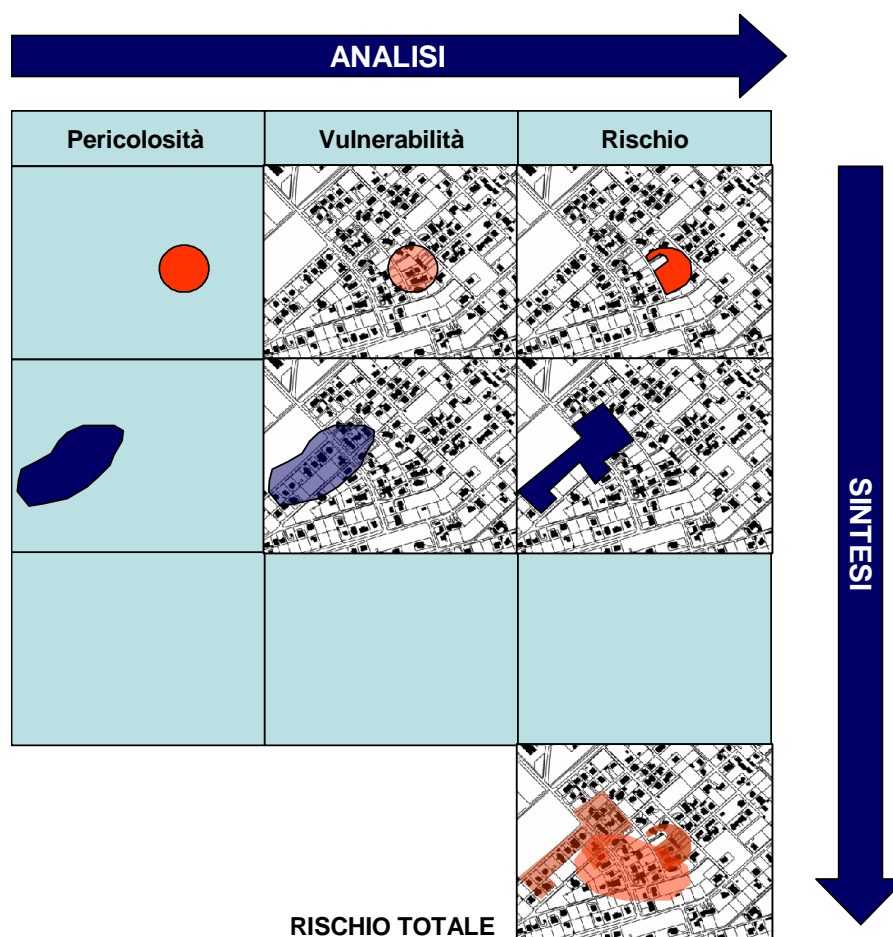


Fig. 13. Costruzione dello scenario di rischio secondo l'approccio canonico

Di conseguenza il rischio totale connesso al verificarsi di più eventi, al danno prodotto su diverse tipologie di elementi, oppure alle relazioni intercorrenti tra eventi o tra danni ad elementi diversi, sembra quantitativamente non valutabile poiché non sembra proponibile una valutazione del rischio effettuata a seguito di una raccolta di informazioni che potrebbe richiedere anni.

Ciò oltre a non essere funzionale alle esigenze presenti sarebbe anche molto probabilmente inutile, in quanto il sistema di informazioni raccolte risulterebbe presto non aggiornato né facilmente aggiornabile.

Per ovviare alla mancanza di informazioni ed alle difficoltà descritte nel modellare il rischio mediante la formulazione teorico-quantitativa, vengono assunti, in molti lavori, criteri empirici di valutazione del rischio e della scala di valore tra gli elementi esposti ad una certa pericolosità connessa ad un particolare e limitato obiettivo conoscitivo, che consente di definire le assunzioni di partenza. L'analisi totalmente empirica quindi, se da un lato sembra permettere una visione olistica mediante l'adozione di una metodologia di sintesi di tutti gli elementi, fornisce invece un risultato necessariamente parziale ed eventualmente incompleto per le finalità che ci si propone.

#### **5.4 L'approccio sistemico alla gestione del territorio**

La cognizione del territorio come elemento unitario e irriproducibile ha modificato (o sta modificando) radicalmente l'approccio alla gestione, spostandolo sempre di più verso una visione "sistemica". Adottare un approccio sistemico implica il riconoscimento che:

- la modificazione di una delle componenti del sistema territoriale induce o può indurre dei cambiamenti anche sulle componenti ad essa relazionate (fisicamente o funzionalmente),
- la capacità di interagire delle componenti del sistema territoriale può amplificare gli effetti di una singola modificazione o può modificare (in maniera non attesa) la configurazione del sistema nel suo complesso.

Adottare un approccio sistemico alla gestione del territorio significa quindi pensare a processi che includano, tra gli elementi di loro interesse, tanto le componenti caratterizzanti il fenomeno che il processo stesso tende a regolare, sia quelle fisicamente o funzionalmente legate ad esse, in quanto in grado di condizionare o di essere condizionate dalla modificazione oggetto della gestione.

Per chiarire questo concetto utilizzeremo il caso delle zone marine protette.

Nel documento "10 messages for 2010 Coastal ecosystems" della EEA si legge:

*"Multiple pressures affect coastal ecosystems .... destruction and degradation of coastal habitats, pollution, climate change and invasive species, overexploitation of key fish stocks, erosion"*

Nella cognizione comune, i fattori di pressione dipendono da:

- come viene gestita l'area di interfaccia mare - terra (utilizzazione turistica delle coste, realizzazione di infrastrutture, etc.)

- come viene gestita la risorsa marina (pesca, utilizzazione turistica, utilizzazione commerciale etc.)

Ed infatti, i Piani di Gestione Integrata delle Zone Costiere (GIZC) limitano la loro area di intervento agli ambiti territoriali litoranei. Quelli riportati di seguito sono gli ambiti di intervento su cui, nella maggior parte dei Piani di Gestione sino ad oggi formulati, si concentra l'attenzione:

- Geologia, idrogeologia ed ingressione salina
- Problemi e Rischi di portualità, trasporto marittimo e navigazione
- Tutela ed allargamento degli habitat naturali (parchi costieri) e della biodiversità
- Turismo sostenibile
- Pesca ed acquacoltura
- Agricoltura sostenibile
- Urbanizzazione costiera e trasporto

In verità, le pressioni che si manifestano nelle aree costiere sono determinate, in misura molto consistente, da come viene utilizzata l'area dei bacini idrografici collocati a monte delle zone stesse.

Infatti:

- la presenza di invasi e sbarramenti idraulici modificano l'apporto solido dei corsi d'acqua, provocando i fenomeni erosivi
- la contaminazione dei corpi idrici e dei suoli nei bacini idrografici contribuisce in maniera molto consistente ai fenomeni di inquinamento delle aree marine
- la modificazione dei livelli di permeabilità dei suoli nei bacini idrografici modifica il regime degli afflussi alla foce dei fiumi

Dal punto di vista conoscitivo, adottare un approccio sistemico alla gestione del territorio implica l'introduzione di elevati livelli di complessità nell'analisi. L'aspetto più critico, in questa prospettiva, risiede sicuramente nel riuscire a descrivere in termini sistemici il fenomeno che si intende gestire, poiché questo richiede una stretta interconnessione disciplinare che, allo stato attuale, sembra essere molto debole. L'analisi sistemica dei fenomeni territoriali, infatti, necessita che si tenga conto tanto delle grandezze utili ad illustrare lo stato delle singole componenti territoriali che compongono il sistema che, e soprattutto, delle modalità con cui esse interagiscono producendo specifiche configurazioni del sistema territoriale nel complesso. Questo secondo aspetto è ciò che postula il bisogno di integrazione delle competenze.

## 6 L'INCERTEZZA NELLA STIMA DEL RISCHIO

### 6.1 Il concetto di incertezza

La previsione dei rischi non è una scienza esatta; tutte le previsioni sono affette da diversi livelli di incertezza che in misura minore o peggiore riducono la utilizzabilità dei risultati di questo processo analitico.

L'incertezza è un termine usato per comprendere molti concetti, e molti sono stati i tentativi di fornirne una qualche forma di definizione, variamente diversificati in funzione degli ambiti disciplinari rispetto ai quali il termine stesso doveva essere declinato.

L'incertezza è stata definita come "un certo grado di ignoranza" (Beven, 2009), "uno stato di conoscenza incompleta (Cullen & Frey, 1999), "condizione di insufficienza di informazioni" (Kwan, Olken, & Rotem, 1997) ecc. La letteratura scientifica contiene in realtà molte definizioni e descrizioni del termine incertezza, associate a diverse forme di classificazione.

Il complesso dei riferimenti di letteratura è ulteriormente complicato dal fatto che ciascun ambito disciplinare in cui il problema dell'incertezza è stato analizzato ha utilizzato ed utilizza lessici differenti, ciò che porta spesso ad associare nomi diversi a stessi concetti, ovvero ad utilizzare uguali nomi per concetti diversi.

Molti tentativi sono stati fatti per produrre una tassonomia delle fonti di incertezza, anche questi fortemente condizionati dall'ambito disciplinare di riferimento.

In ambito ecologico, ad esempio Regan et al. (Regan, Colyvan, & and Burgman, 2002) identificano due principali tipi di incertezza: incertezza epistemica e incertezza linguistica.

Altri autori, riferendosi al generale ambito della "risk analysis" identificano una ulteriore tipologia di incertezza, particolarmente rilevante per gli scopi della presente trattazione: l'incertezza aleatoria.

Ai precedenti casi, che complessivamente potremmo riferire al generale processo di stima del rischio, occorre aggiungere, da un nostro punto di vista, due ulteriori elementi che contribuiscono a ridurre la possibilità di delineare future configurazioni di rischio:

- la prevedibilità dei fenomeni pericolosi;
- il comportamento sistemico del territorio.

## **6.2 L'incertezza nei processi di stima del rischio**

I processi di stima del rischio sono caratterizzati da molteplici forme di incertezza che possono essere categorizzate nel modo seguente:

- incertezza legata alla conoscenza dei fenomeni e delle grandezze che concorrono alla determinazione di una condizione di rischio (incertezza epistemica)
- incertezza legata alla aleatorietà dei fenomeni che generano una condizione di rischio
- natura dei fenomeni che generano il rischio e loro prevedibilità
- natura sistemica del rischio territoriale.

É evidente che tale tassonomia è del tutto strumentale ed è stata adottata ai soli fini di discussione generale, e che le diverse fonte di incertezze presentano amplissimi margini di sovrapposizione.

### **6.2.1 Incertezza epistemica**

Secondo Regan (Regan, Colyvan, & and Burgman, 2002), l'incertezza epistemica è l'incertezza associata alla conoscenza. Essa infatti risulta dalla conoscenza imperfetta di qualcosa che è in linea di principio conoscibile e quindi, sempre in linea di principio riducibile con ulteriori ricerche e osservazioni. Molti autori hanno condiviso questa concettualizzazione all'interno di diversi ambiti disciplinari; possono citarsi, ad esempio, gli studi di Gillund in ambito biologico (Gillund, Kjolberg, von Krauss, & Myhr, 2008), il lavoro di Walker nel campo della decision analysis (Walker, et al., 2003) e quello di McCann nell'ambito della gestione delle risorse naturali (McCann, Marcot, & Ellis, 2006).

Sempre secondo Regan, le fonti dell'incertezza epistemica possono essere classificate in sei tipologie:

- errori di misura;
- errori sistematici;
- variazione naturale ;
- casualità intrinseca;
- incertezza di modellazione;
- giudizio soggettivo.

Nell'economia della presente trattazione si prendono in considerazione solo alcune delle categorie precedenti, in quanto più direttamente riferibili allo spazio dei fenomeni di diretto interesse ai fini della sicurezza territoriale.

### ***Errori di misura***

---

La conoscenza dei fenomeni territoriali, tra cui si collocano anche quelli in grado di generare pericoli, è frequentemente basata su misure.

Nella conduzione di misure di fenomeni reali possono generarsi molteplici errori di misura che dipendono, in generale, da imprecisioni nei processi di misurazione, e che possono essere dovuti sia all'osservatore che agli strumenti di misura.

L'incertezza dovuta agli errori di misurazione si manifesta (apparentemente) come una variazione casuale nella misurazione di una data variabile (quantità), osservabile in relazione a misure ripetute. In assenza di qualsiasi altra forma di incertezza, l'errore di misura (rapporto tra la vera quantità e la quantità misurata) dipende dal numero di misurazioni effettuate, dalla variazione tra misurazioni, dalla precisione delle apparecchiature utilizzate per effettuare la misura, e l'abilità dell'osservatore. Questo tipo di incertezza viene normalmente gestita mediante l'applicazione di tecniche statistiche per la valutazione di misurazioni multiple (ad esempio mediante l'analisi degli outliers).

### ***Errori sistematici***

---

Gli errori sistematici nella misurazione di una data grandezza si verificano, al contrario, a causa di difetti delle apparecchiature di misura o, nel caso di analisi di fenomeni statistici, per errate procedure di campionamento. L'errore sistematico è formalmente definito (in ambito statistico) come la differenza tra il valore reale della quantità osservata e il valore al quale tende la media delle misurazioni all'aumentare delle dimensioni del campione. A differenza dell'errore di misura, l'errore sistematico non è casuale e, quindi, le misurazioni soggette a questo tipo di errore non variano intorno ad un valore "vero" (rappresentato dalla media di misurazioni multiple). Un errore sistematico può derivare dalla decisione di un analista di escludere / includere nell'analisi alcune componenti della grandezza osservata o può derivare da errore involontari (come la taratura errata di apparecchi o la registrazione non corretta delle misure).

I meccanismi che possono generare misure affette da errori sistematici sono molti e spesso poco identificabili. Burgman (Burgman, 2005) fornisce diversi esempi che evidenziano i molteplici meccanismi che possono generare effetti di "polarizzazione" nelle misure.

Un aspetto particolarmente rilevante per quanto attiene a questo tipo di errori, concerne l'analisi di fenomeni statistici basati sul confronto con una classe di riferimento. Questo tipo di analisi, infatti, utilizza normalmente la tecnica della analisi di frequenza dei caratteri di una grandezza osservata, valutandone la

consistenza rispetto ad una classe di riferimento. In questo caso la scelta della corretta classe di riferimento risulta cruciale.

Su questo tema esiste una vasta letteratura; si cita, tra tutti, il lavoro di Kyburg e Thalos (Kyburg, Thalos, & ., 2002).

Questo problema genera gravi conseguenze in tutti i settori in cui vengono utilizzate analisi statistiche e, sebbene non ci sia una soluzione nota per questo tipo di problema, rimane il fatto che le statistiche derivate utilizzando una classe di riferimento non appropriata influenzeranno seriamente i risultati. Ambiti di analisi tipicamente influenzati da questo tipo di problema sono quelli in cui l'analisi stessa è influenzata dalla scala. In biologia, ad esempio, si è notato come la stima della ricchezza di certe specie animali dipenda dalla scala cui sono condotte le indagini (Hamer & Hill, 2000).

Errori sistematici sono anche possibili a causa di "forzature" utilizzate nelle teorie di osservazione, ovvero dalla nostra tendenza ad utilizzare teorie dipendenti da tassonomie non coerenti con il nostro campo di indagine, ovvero dal condizionare le misure sulla base di teorie da noi ritenute corrette (Chalmers, 1999).

L'unico modo per rimuovere gli errori sistematici è quello di riconoscere un "malfunzionamento" nella procedura sperimentale e rimuoverlo; ciò è però molto complesso da realizzare, salvo che non ci siano fondamenti teorici a cui potersi riferire.

### ***Incertezza di modellazione***

---

Questo tipo di incertezza si manifesta come risultato delle nostre rappresentazioni modellistiche di sistemi fisici e biologici. In linea generale, i modelli possono essere definiti come una formulazione semplificata e generalizzata di quelle che sembrano essere le caratteristiche principali di una situazione reale. In ambito geografico (cioè nell'analisi dei fenomeni a rilevanza spaziale) la definizione classica di modello è data da Haggett (Chorley & Haggett, 1967):

*"a model is a simplified version of reality, built in order to demonstrate certain of the properties of reality".*

I modelli possono essere di svariatissime tipologie (mentali, astratti, fisici) e molto diversificati per finalità di costruzione, tecniche di implementazione e teorie poste alla base della loro formulazione.

Di particolare interesse nel campo della risk analysis sono i modelli matematici ad implementazione informatica, dato che essi sono molto ampiamente utilizzati per analizzare (descrivere, prevedere, simulare, valutare) fenomeni a specifica rilevanza spaziale (Goodchild, Parks, & Steyaert, 1994) (Pierce, 1998) (Brunet, 2001).

Nella costruzione di un modello di un fenomeno si pongono numerose fonti di incertezza connesse al processo di definizione, strutturazione ed implementazione del modello stesso.

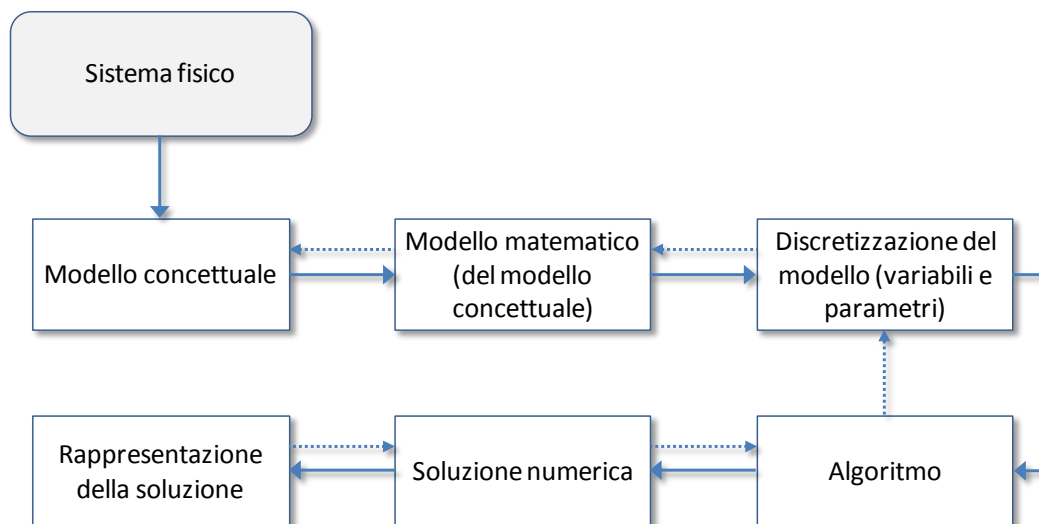


Fig. 14. Flusso logico di definizione ed implementazione di un modello (rielaborato da: Oberkampfa et al. 2002)

Nello schema precedente, a ogni step di processo sono associabili diverse tipologie di errore.

Possono essere infatti commessi errori nella fase di modellazione concettuale di un dato fenomeno, a causa di una non completa conoscenza dei fattori causali inerenti al fenomeno stesso o dei parametri specifici che influenzano tali fattori.

Ancora, possono essere introdotti errori in fase di formalizzazione del modello concettuale, anche in questo caso per una non completa conoscenza delle relazioni funzionali che intercorrono tra i fattori.

Anche in fase di scrittura dell'algoritmo che realizza il modello di fenomeno possono introdursi degli errori, a volte molto difficili da identificare.

Alcuni errori possono poi manifestarsi a causa di una non esaustiva o non puntuale disponibilità di dati, necessari alla implementazione del modello.

### **Giudizio soggettivo**

Un particolare aspetto della incertezza epistemica è quello relativo al giudizio soggettivo che normalmente viene posto alla base della determinazione di parametri rilevanti per la descrizione di un dato fenomeno. Questo aspetto rimanda, in generale, al problema della interpretazione dei dati concernente un dato fenomeno, sulla base dei quali vengono fondate ipotesi interpretative del



fenomeno stesso. Questo tipo di incertezza è tanto maggiore quanto i dati sono scarsi o affetti da errori.

### ***Incerteza linguistica***

---

L'incerteza linguistica è una fonte importante ma spesso trascurata di incerteza nella valutazione del rischio; tale sottovalutazione è in gran parte legata al fatto che nella maggior parte degli studi tassonomici sull'incerteza non si fa riferimento a questa tipologia di fonte. Il principale campo di riferimento per questo tipo di incerteza è certamente quello della biologia e degli studi naturalistici, che tuttavia non ne esauriscono la rilevanza.

L'incerteza linguistica è dovuta al fatto che il linguaggio, e l'uso che di esso si fa, non è sempre puntuale e non ambiguo. Regan et al. (Regan, Colyvan, & Burgman, 2002) individua cinque tipi di incerteza linguistica :

- **Vaghezza**

La condizione di vaghezza nasce perché il nostro linguaggio naturale, e gran parte del nostro vocabolario scientifico, è ricco di termini "poco precisi".

Ad esempio, i termini utilizzati per distinguere le categorie di probabilità e le conseguenze nella valutazione qualitativa del rischio sono tipicamente vaghi; parole come basso, trascurabile, moderato o frequente, di grandi dimensioni, ecc sono termini vaghi.

- **Dipendenza dal contesto**

Questo tipo di incerteza deriva dal fatto che la comprensione di molti dei termini da noi utilizzati non può essere assicurata se non specificando il contesto a cui il termine si riferisce. Se, ad esempio, si afferma che la dimensione di un certo campione di dati è piccola rispetto alla popolazione di riferimento, ma non chiariamo quale sia la dimensione della popolazione, il termine "piccolo" rimane non specificato. Si è detto prima che "piccolo" è peraltro un termine vago ma le due questioni (vaghezza e dipendenza dal contesto) non debbono essere confuse. La vaghezza, infatti, permane una volta che sia stato chiarito il contesto.

- **Ambiguità**

Le ambiguità linguistiche derivano dal fatto che possono esistere molte potenziali associazioni tra un termine e corrispondenti significati. Queste associazioni possono essere di tipo polisemico (capacità di un termine di avere molteplici significati o significanti: ad esempio "fine" come obiettivo o come termine) e di omonimia (è il caso di gruppi di termini diversi che condividono

però lo stesso significato). Parlando di ambiguità, Allen (Allen, 1995) descrive come, dato il potenziale contenuto polisemico dei termini da noi utilizzati, possono definirsi diverse potenziali interpretazioni di una data affermazione.

- **Mancanza di specificazione**

Si verifica quando utilizziamo delle affermazioni che non contengono una completa specificazione del significato dell'affermazione stessa.

Se ad esempio si dicesse: "Nei prossimi giorni sarà piovoso", si utilizzerebbe una forma priva di specificazione poiché non si chiarirebbe quanti (ed eventualmente quali) giorni futuri saranno piovosi, il tipo di pioggia attesa etc.

Un caso tipico di sotto-specificazione è quello riferibile alla localizzazione spaziale di determinati fenomeni (il nord, un'area geografica etc).

- **Indeterminazione di termini teorici**

Questa è una forma sottile e piuttosto insidiosa di incertezza linguistica. Essa nasce dal fatto che l'uso di un termine, attualmente o in futuro, può differire anche notevolmente dall'uso che di quel termine si è fatto nel passato. In altre parole ciò significa che le tassonomie dei termini utilizzati nella analisi di rischio possono modificarsi nel tempo, in funzione di evoluzioni tecnico-scientifiche, modificazioni culturali, affermazioni di prassi.

### **6.2.2 Aleatorietà dei fenomeni**

L'incertezza di tipo aleatorio è quella legata alla intrinseca variabilità (nello spazio e nel tempo) dei fenomeni oggetto di studio. La quantità di pioggia annuale in anni consecutivi è un fenomeno variabile, così come il contenuto di argilla di suolo. Si è spesso affermato che l'incertezza aleatoria è una proprietà del sistema, mentre l'incertezza epistemica è una proprietà dell'analista (Cullen & Frey, 1999).

Diversi analisti, caratterizzati da livelli diversi di conoscenza (sia sotto il profilo disciplinare che del grado di approfondimento) e dotati di diverse risorse (tecniche e tecnologiche) per condurre una analisi, possono avere diversi livelli di incertezza epistemica per quanto riguarda le loro previsioni. Questo significa che l'incertezza epistemica, in linea di principio, può essere ridotta in misura dell'aumento della conoscenza che si ha (o si può avere) a proposito di un dato fenomeno.

L'incertezza aleatoria, al contrario, non è in alcun modo riducibile poiché i fattori di variabilità del fenomeno oggetto di studio non sono riducibili a grandezze analizzabili in forma deterministica.

La maggior parte dei fenomeni oggetto dell'analisi di rischio sono caratterizzati da una intrinseca variabilità naturale (spaziale e/o temporale), normalmente difficile da prevedere, soprattutto quando essi siano influenzati da altri fenomeni non direttamente oggetto di analisi, anch'essi caratterizzati da variabilità.

Alcuni autori, ed in particolare quelli che si occupano di studi ambientali, fanno una distinzione tecnica tra il concetto di variabilità ed incertezza.

Van Belle, ad esempio, (Van Belle, 2008) descrive la variabilità e l'incertezza come due distinte categorie, ciascuna caratterizzata da differenti tipi e fonti di casualità. In particolare egli sostiene che la variabilità " ... *refers to natural variation in some quantity*" mentre l'incertezza " ... *refers to the degree of precision with which a quantity is measured*".

Un esempio di questa distinzione concettuale può essere fatto riferendosi al fenomeno dell'inquinamento urbano. La concentrazione nell'aria di alcuni contaminanti è evidentemente variabile nello spazio e nel tempo. La possibilità di determinare la quantità specifica di contaminante (e quindi l'incertezza nella stima di tale quantità) dipende dalla disponibilità di strumenti che ne permettano la misura o, più in generale, dalla nostra capacità di modellare la variabilità del fenomeno stesso in maniera sufficientemente accurata da permetterne la stima. Questo secondo aspetto (la capacità di modellazione) rimanda alla più complessa questione relativa al rapporto tra variabilità ed incertezza, ed in particolare quella della incertezza nella definizione stessa della variabilità di un fenomeno, trattata al precedente paragrafo 6.2.1. Questo argomento è stato ampiamente trattato da Cullen e Frey (Cullen & Frey, 1999).

Un aspetto di variabilità che non può essere trascurato è quello relativo allo spazio. Molti fenomeni, infatti, assumono particolari valori in funzione della specifica localizzazione spaziale all'interno della quale essi si manifestano. Se ad esempio si volesse stimare il grado di contaminazione di un suolo, dovuto alla presenza di qualche fonte inquinante (ad esempio una discarica) è evidente che ci si dovrebbe riferire attentamente alle condizioni di prossimità tra il punto in cui la stima deve essere effettuata e la fonte contaminante.

### **6.2.3 La prevedibilità dei fenomeni pericolosi**

Al di là dei generali problemi di incertezza insiti in un qualsiasi processo di analisi di fenomeni complessi, parlando di sicurezza territoriale va segnalata una specifica questione relativa alla possibilità di costruire scenari previsionali delle condizioni di rischio, rispetto a cui assumere decisioni strutturali di prevenzione.

I rischi che il generale processo indirizzato alla Sicurezza Territoriale tende a gestire sono infatti legati a due classi di eventi pericolosi: gli eventi prevedibili e quelli non prevedibili.

Nel contesto della presente trattazione si assume che entrambe le tipologie di eventi siano noti, distinguendoli in tal modo da una ulteriore classe di eventi (la cui trattazione richiederebbe di introdurre ulteriori elementi analitici non coerenti con lo scopo della trattazione stessa), e cioè i fenomeni "ignoti" (si pensi, ad esempio, ad epidemie di tipo virale non ancora verificatesi).

Ciò che distingue le due tipologie di eventi è la possibilità (maggiore o minore) di sottoporre ad analisi il fenomeno stesso, ovvero le cause che generano il fenomeno.

Con questa avvertenza possiamo definire le due tipologie di eventi nel modo seguente (Ioannilli, Ambrosanio, & Paregiani, Piani di protezione civile comunale: l'esperienza della Provincia di Roma, 2008):

- eventi prevedibili: di cui siano cioè noti e sottoponibili ad analisi preventiva e simulativa i fattori causali.

*L'esondazione di un'asta idrografica (evento) è prevedibile in relazione al verificarsi di determinati eventi meteorologici (fattori causali) sulla base dell'analisi del comportamento dell'asta stessa in relazione ad eventi meteorologici pregressi, o sulla base di modellazioni idrologiche. L'evento è quindi descrivibile sia in termini di probabilità (con riferimento al tempo di ritorno delle piene) che nello spazio (sezione di esondazione). La possibilità di descrivere l'evento atteso nella dimensione del tempo e dello spazio permette di valutarne i rapporti con il contesto territoriale, potendo in tal modo stimare le effettive condizioni di rischio ad esso connesse;*

- eventi non prevedibili: di cui siano noti i fattori causali ma tali fattori non siano sottoponibili ad analisi e simulazione.

*Il crollo di un edificio (evento) è determinabile in termini di fattori causali (cedimento dovuto ad alterazioni delle componenti strutturali, cedimento dovuto ad una alterazione dello strato di fondazione etc.) ma tali fattori non possono essere sottoposti ad analisi preventiva poiché ciò richiederebbe la conoscenza delle condizioni statiche di ciascun edificio e di ciascun suolo di fondazione. L'evento è quindi determinabile in senso generale ma non in termini di probabilità (nel tempo) e di localizzazione di accadimento (nello spazio). In maniera analoga non è prevedibile un evento sismico, benché sia del tutto noto il processo geofisico che conduce al manifestarsi del sisma.*

La prevedibilità degli eventi potenzialmente pericolosi (descritti secondo la precedente definizione) non costituisce, di per sé, un elemento sufficiente a

garantire un attendibile risultato del processo previsionale, e questo in virtù di tutti gli ulteriori elementi di potenziale incertezza insiti nei processi di stima.

A questo proposito occorre notare che:

- tutti i **potenziali rischi sono di interesse** nell'approccio alla Sicurezza Territoriale;
- i rischi legati a **fenomeni prevedibili** vengono normalmente delineati mediante **l'uso di modelli formalizzati** che, come discusso al precedente paragrafo 6.2.1, contengono un certo grado di probabilità che il risultato della modellazione non fornisca una immagine completamente coerente (spazialmente e temporalmente) con l'accadimento che si manifesterà;
- in ogni caso, la **dinamicità del sistema territoriale** fa sì che il sistema stesso si trovi, all'atto del manifestarsi dei fenomeni, in condizioni non del tutto rispondenti a quelle assunte nella simulazione (modificazione non prevedibile delle condizioni di contesto assunte come base per la simulazione; modificazione delle condizioni territoriali generali etc);
- inoltre, tra gli eventi potenzialmente calamitosi possono ingenerarsi dei **meccanismi di reciproca induzione**.

#### **6.2.4 Natura sistemica del rischio territoriale**

Un ultimo e particolarmente rilevante elemento di incertezza, nei processi di stima del rischio complessivamente agente in un dato territorio, è poi quello connesso alla natura sistemica del rischio che:

- modifica il concetto di "luogo dell'evento", assunto nell'approccio canonico per la determinazione dei livelli di rischio corrispondenti.
- modifica il concetto stesso di rischio che non risulta più dalla intersezione di un areale di pericolosità legato ad un dato fenomeno calamitoso (pericolo specifico) con gli elementi vulnerabili ad esso esposti. In questo approccio, infatti, il rischio risulta dalla intersezione del complessivo pericolo (originario ed indotto, pericolo sistemico) agente all'interno del territorio con il complessivo sistema degli elementi vulnerabili presenti,
- modifica il concetto canonico di esposizione poiché in linea di principio tutti gli elementi del sistema territoriale hanno una probabilità (maggiore o minore) di essere localizzati all'interno di un areale di pericolosità od all'interno del territorio connesso a tale areale.

Inoltre, adottando tale approccio e tenendo conto che tutti gli elementi del sistema territoriale sono potenzialmente esposti ad una molteplicità imprevedibile di pericolosità, nasce l'esigenza di rideterminare il concetto di vulnerabilità che non

può più essere assunta come capacità specifica di un dato elemento di resistere a una data pericolosità.

**PARTE II - PROPOSTA METODOLOGICA E OPERATIVA**

---

## **7 PROPOSTA METODOLOGICA**

Questo capitolo del lavoro di dottorato è stato redatto portando a sintesi congiunta i risultati analitici raggiunti nel corso di questo lavoro e dal lavoro svolto dall'ing. Maurizio Ambrosanio.

### **7.1 Premessa**

Si è messo in evidenza come la sicurezza territoriale abbia come obiettivo quello di minimizzare il rischio complessivamente inteso, agente su un sistema territoriale.

Abbiamo inoltre visto in precedenza come, nella definizione canonica del concetto di rischio, implicitamente si assume che esso derivi dalla relazione (spaziale) diretta tra un areale di pericolosità e la presenza, in quell'aerale, di elementi del Sistema Territoriale vulnerabili a quella pericolosità (elementi esposti).

Abbiamo però anche segnalato come questa tipologia di approccio non assicuri la realizzazione di una rappresentazione esaustiva del rischio complessivo agente in un dato territorio, poiché gli scenari di rischio prodotti in tal modo possono sì sommarsi l'uno con l'altro ma in modo esclusivamente verticale, escludendo meccanismi di mutuo innesco e possibili interazioni che possono dar vita ad altri fenomeni pericolosi.

Si è a questo proposito discusso di come un simile approccio sia caratterizzato da un limite intrinseco, dipendente dal non considerare il comportamento sistemico del territorio e la potenziale mutua intergenza di fenomeni calamitosi.

Nella discussione relativa all'incertezza nella stima del rischio si sono inoltre introdotti alcuni elementi che rendono evidente come il tentativo di descrivere in forma analitica e quantitativa potenziali di rischio sia comunque da assumere come una operazione parziale e la cui validità, rispetto al reale manifestarsi del rischio, rimane comunque da sottoporre a verifica.

Per tutti i motivi precedenti, e tenendo conto di quanto è stato detto nel precedente paragrafo 5.3 a proposito del ruolo delle politiche preventive nei confronti della sicurezza territoriale, si è adottato di trattare la questione del rischio territoriale secondo un approccio del tutto diverso a quelli variamente rintracciabili in letteratura.

Questo approccio, che potremmo definire "universalistico", pur non rinunciando alla descrizione delle pericolosità agenti su un dato territorio secondo l'approccio



canonico, punta tuttavia alla descrizione strutturata delle diverse componenti territoriali ritenute rilevanti rispetto al configurarsi del rischio sistemico, con lo scopo di fornire ai diversi decisori pubblici un quadro informativo idoneo a supportare le proprie scelte di pianificazione in una prospettiva di sicurezza territoriale.

In termini più generali, l'approccio universalistico non cerca di formulare scenari chiusi del rischio territoriale quanto piuttosto di rappresentare quelle grandezze che, nel processo di gestione del territorio, possono configurarsi per il decisore pubblico come elementi di "vincolo" o di opportunità di scelta.

L'approccio che viene proposto si basa sui seguenti concetti:

- tutti i fattori di pericolosità possono essere analizzati singolarmente per costituire una sintesi del grado di pericolosità complessiva agente sul territorio, nella ipotesi cautelativa che i diversi fenomeni calamitosi si possano manifestare in maniera congiunta nel tempo e nello spazio;
- ogni singola pericolosità deve essere tuttavia analizzata e determinata sia in termini di fattori causali che in termini di potenziale intergenza con elementi presenti sul territorio la cui natura e caratteristica sia in grado di modificare la configurazione stessa del pericolo;
- tutti gli elementi naturali ed antropici presenti sul territorio sono ritenuti, in prima istanza, come potenzialmente esposti a condizioni variabili di pericolosità territoriale.

L'adozione di questo tipo di approccio sposta evidentemente l'attenzione dall'analisi del singolo pericolo all'analisi del quadro territoriale complessivo sui cui il pericolo agisce, cercando in tal modo di mettere in evidenza come una data porzione di territorio possa potenzialmente interagire con eventuali condizioni di pericolo.

Per implementare l'approccio proposto occorre modificare i tradizionali concetti di pericolosità, vulnerabilità e di intervento, adottando una loro scomposizione in funzioni interrelate, definite come:

1. Funzione di Pericolosità
2. Funzione di Vulnerabilità
3. Funzione di Regolazione

## **7.2 Dal concetto di pericolo a quello di "funzione di pericolosità"**

Il tentativo di descrivere i fenomeni di pericolo in forma sistemica è subordinato alla possibilità di:

- modellare una catena di potenziali eventi che descrivano quale configurazione complessiva del pericolo possa discendere dal manifestarsi di un evento calamitoso, in conseguenza di una specifica configurazione del sistema territoriale in cui l'evento si manifesta
- qualificare il potenziale ruolo assunto da differenti componenti territoriali, se vulnerate da un evento calamitoso, nella catena di eventi successivi all'evento iniziale
- la possibilità di identificare, nella catena dei componenti, quelli corrispondenti agli elementi materiali la cui configurazione può essere controllata mediante azioni di regolazione.

Abbiamo a disposizione diverse tecniche per supportare il nostro sforzo, definite all'interno della Risk Analysis, la più nota delle quali è certamente quella della Event Tree Analysis (ETA).

Questo tipo di analisi è una rappresentazione grafica di un modello logico che identifica e quantifica i possibili effetti seguenti al manifestarsi di un evento iniziale.

L'albero degli eventi è costituito secondo una struttura di archi e nodi in cui

- gli archi rappresentano le condizioni che conducono a configurazioni alternative del sistema
- i nodi rappresentano gli eventi conseguenti a date configurazioni del sistema
- la radice dell'albero rappresenta l'evento iniziale.

In un approccio quantitativo all'analisi di rischio a ciascun arco può essere associata una probabilità che la specifica configurazioni si manifesti.

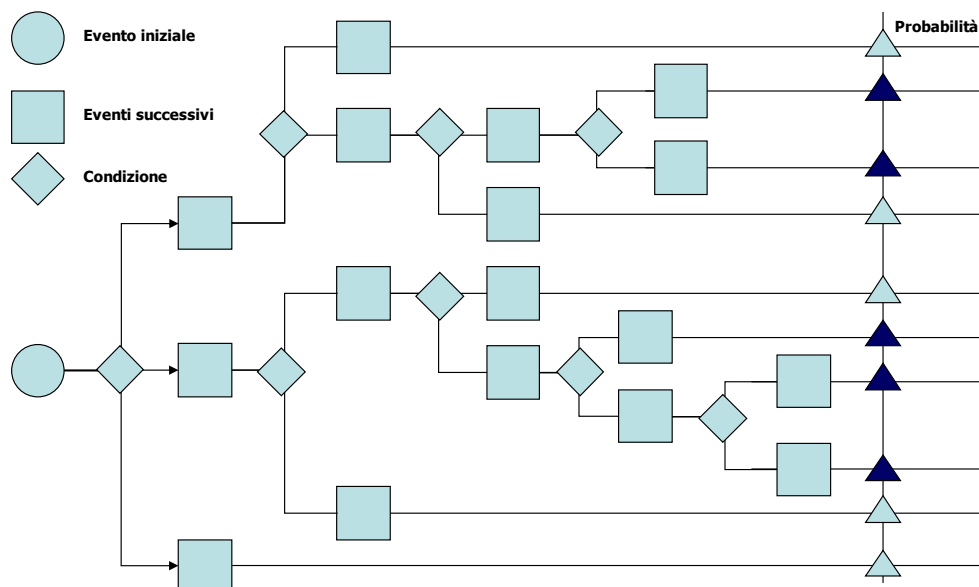


Fig. 15. Schema generale di un ETA

Secondo Clifton e Ericson (Clifton & Ericson, 2005):

*An event tree analysis (ETA) is an inductive procedure that shows all possible outcomes resulting from an accidental (initiating) event.*

*By studying all relevant accidental events, the ETA can be used to identify all potential accident scenarios and sequences in a complex system.*

*Design and procedural weaknesses can be identified, and probabilities of the various outcomes from an accidental event can be determined.*

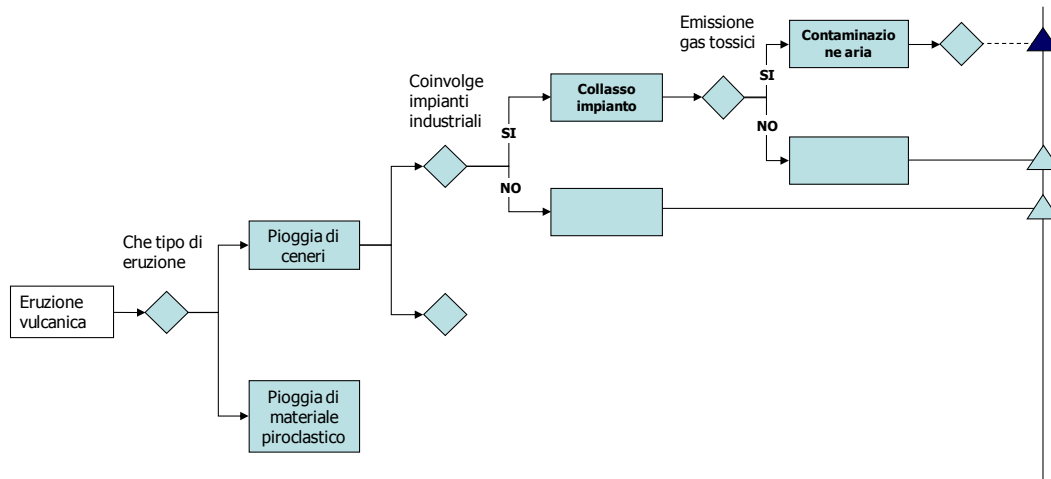


Fig. 16. Esempio applicativo di un ETA

È evidente che la implementazione di una analisi del tipo ad “alberi degli eventi” è legata alla nostra capacità di immaginare e descrivere le potenziali conseguenze che derivano dal manifestarsi di un dato evento.

Dal punto di vista concettuale l'implementazione di questo approccio richiede che:

- un dato territorio venga osservato per componenti;
- ciascuna componente venga qualificata in termini di funzione che essa può svolgere nella generazione o nella successiva evoluzione di una condizione di pericolo.

Il pericolo, di conseguenza, deve essere descritto per mezzo di una funzione in grado di restituire la modellazione sistemica del pericolo stesso, con ciò intendendo sia le modalità con cui si genera un pericolo specifico e di come esso evolve verso una condizione di pericolo sistemico.

Tenendo conto delle interazioni tra i fattori componenti del pericolo e il sistema territoriale occorre quindi superare il concetto stesso di pericolo e far riferimento alla “funzione di pericolosità”.

La funzione di pericolosità è descritta come combinazione di fattori che, rispetto ad un evento calamitoso svolgono il ruolo di:

- **causa**
- **amplificazione**
- **interferenza.**

Per tali fattori possono darsi le seguenti definizioni:

- **fattore di pericolosità causale:** evento connesso a una componente del sistema territoriale influente sul generarsi o scatenarsi di un dato fenomeno pericoloso; i fattori causali sono quelli correntemente utilizzati per descrivere la “dinamica” propria del fenomeno analizzato (definiti all’interno del “sottosistema” propria del fenomeno). Un tipico esempio di fattore causale (o co - causale), nel confronto del fenomeno "frane" è certamente il taglio del piede di un versante.
- **fattore di pericolosità di amplificazione:** è un evento connesso a una componente del sistema territoriale o una caratteristica stessa del territorio che rende possibile, favorisce, aumenta di estensione o intensità un evento pericoloso, essendo in grado quindi, al manifestarsi di un evento pericoloso, di accentuarne l’intensità e/o la portata e/o la sua evoluzione spaziale e/o temporale. Sempre riferendoci al caso delle frane, un fattore di amplificazione del pericolo può essere la presenza di aree già colpite da eventi franosi e non bonificate.
- **fattore di interferenza:** è un fattore di pericolosità causale generato da un evento di tipo diverso dall’evento causato. Esso è dunque un evento connesso a una componente del sistema territoriale che, se investita da un dato pericolo, subisce una alterazione tale da risultare causa di innesco di un pericolo diverso. Un tipico esempio di fattore causale è una scarica che, se colpita ad esempio da un incendio, può innescare un pericolo di tipo sanitario.

In questo modo, la completa descrizione di un fenomeno potenzialmente calamitoso deve essere effettuata secondo la seguente formulazione.

$$\mathbf{f\text{-Pericolosità} = f(\mathbf{causa, amplificazione, interferenza})}$$

Per implementare tecnicamente un simile approccio è necessario dunque ricercare e formalizzare, per ciascun tipo di pericolosità, quei caratteri del territorio in grado di svolgere funzioni diversificate, concorrendo complessivamente al configurarsi di un dato pericolo.

Da queste considerazioni ne scaturisce la definizione di "pericolosità sistemica", intesa come quella pericolosità che si manifesta in funzione delle interazioni tra tutte quelle componenti territoriali che intervengono, a diverso titolo nel manifestarsi del pericolo.

Risulta quindi evidente come la localizzazione geografica degli elementi del sistema territoriale sia la componente fondamentale attraverso cui si relazionano i diversi fattori.

Il valore aggiunto del modello è quindi dato dalla possibilità di considerare in un unico quadro di riferimento tutti gli specifici elementi connessi alla stima del rischio che compongono il sistema territoriale stesso.

Possiamo dunque definire l'**Elemento del territorio** come quell'elemento fisico geograficamente identificato, utilizzato per rappresentare il fattore di pericolosità (causale o di amplificazione) e/o il fattore di interferenza, sul quale agiscono i processi di decisione pubblica, modificandone le caratteristiche (es. fiumi) o definendone la stessa presenza (es. edificazione).

### **7.3 Dal concetto di vulnerabilità specifica a quello di "classi di vulnerabilità"**

La vulnerabilità è una misura della fragilità, della impossibilità di resistere ad un evento calamitoso da parte di un elemento esposto in funzione delle proprie caratteristiche. Nell'approccio proposto si ipotizza che tutte le componenti del sistema territoriale siano da considerarsi come vulnerabili, a prescindere dalla specifica tipologia di pericolo a cui esse possono risultare esposte.

Questo assunto postula l'esigenza di definire una nuova tipologia di vulnerabilità, che chiameremo "intrinseca", la cui definizione è effettuata sulla base di alcune specifiche caratteristiche delle componenti in analisi, e sulla base di classi di vulnerabilità definite a priori.

Ciò significa, ad esempio, che avendo ipotizzato l'esistenza di una classe di vulnerabilità strutturale ed una classe di vulnerabilità funzionale, la specifica componente "patrimonio edilizio" può essere qualificata in termini di vulnerabilità in funzione delle sue caratteristiche strutturali ma anche dal punto di vista delle sue caratteristiche dimensionali o d'uso.

L'uso operativo dei diversi qualificatori di vulnerabilità, definiti per le diverse componenti territoriali nelle diverse classi, è demandato allo specifico processo analitico posto in essere dai diversi decisori pubblici.

Il criterio ordinatore adottato nella conduzione dell'analisi prevede dunque che vengano definite le classi di vulnerabilità rilevanti per l'analisi di rischio, che tutte le diverse componenti del sistema territoriale vengano analizzate e qualificate rispetto alle classi per cui ciascuna di esse risulta significativa.

È evidente che per giungere a tale forma di qualificazione è necessario che siano definiti, per ciascuna componente, i singoli fattori di vulnerabilità che debbono essere osservati in riferimento a ciascuna specifica classe. In maniera più puntuale possono darsi le seguenti definizioni:

- classi di vulnerabilità: identificano le categorie concettuali rispetto alle quali determinare i caratteri specifici degli elementi vulnerabili, da utilizzarsi per le misure di vulnerabilità
- componenti del sistema: elementi fisici del sistema territoriale omogenei da un punto di vista scelto
- fattori di vulnerabilità: caratteri propri delle componenti territoriali, rilevanti rispetto ad una data classe di vulnerabilità.

Questo tipo di analisi richiama, pur non coincidendo con esso, il metodo tipologico esposto al precedente paragrafo 4.2.2. La principale differenza tra il metodo adottato e quello canonico risiede nel fatto mentre nel caso canonico il valore di vulnerabilità è determinato in maniera astratta, e quindi per taluni versi soggettiva, per ciascuna categoria di elementi analizzati, nell'approccio proposto essa è determinata in funzione di fattori la cui rilevanza viene definita rispetto alla specifica classe di vulnerabilità assunta a riferimento.

In ogni caso, l'uso di questo metodo implica un processo di generalizzazione, e quindi una semplificazione, del sistema in esame.

Il criterio adottato per l'analisi della vulnerabilità, di carattere tipologico, ha permesso di descrivere un qualsiasi elemento presente sul territorio in esame tramite i suoi caratteri intrinseci a prescindere dal pericolo a cui esso potrebbe essere accoppiato nel processo di stima del rischio

Le **componenti** vulnerabili del sistema territoriale rappresentano la prima grandezza direttamente misurabile sul territorio e atta alla stima del rischio presente.

Tali componenti sono state anch'esse definite sotto forma di parole chiave poiché esse ricorrono nella matrice di vulnerabilità con significato differente a seconda della classe di vulnerabilità a cui fanno riferimento.

Gli **elementi** del sistema territoriale fanno riferimento alla componente sempre

tenendo conto della classe di vulnerabilità in cui ricade tale componente e rappresentano una grandezza identificabile sul territorio. Anche per gli elementi vulnerabili si è reso necessaria una normalizzazione dei termini sotto forma di 41 parole chiave.

Infine il **fattore** di vulnerabilità risulta essere un misuratore dell'elemento vulnerabile in funzione della classe in cui tale elemento ricade e rappresenta per questo l'attributo più significativo.

Le **classi** in cui è stata divisa la vulnerabilità presente sul territorio sono 7:

- Vulnerabilità Demografica

Questa classe di vulnerabilità è applicata alla componente demografica presente in un dato territorio, e viene valutata in funzione dei seguenti fattori:

- Struttura demografica: i territori caratterizzati da una forte "dipendenza demografica" sono più vulnerabili
- Presenza di specifiche categorie di popolazione in condizioni di limitate capacità fisiche (anziani, internati, bambini, portatori di handicap)

- Vulnerabilità Ambientale

Alcuni contributi scientifici sul tema della vulnerabilità ambientale si rintracciano nella letteratura sugli effetti del cambiamento climatico sui sistemi ecologici. Un indice di vulnerabilità ambientale è stato sviluppato dalla South Pacific Applied Geoscience Commissione (SOPAC) e dall'UNEP (Programma per l'Ambiente delle Nazioni Unite) <sup>8</sup>, il quale definisce, tra gli altri, questi fattori da assumere nella valutazione della vulnerabilità ambientale:

- Fattori geomorfologici (fragilità di carattere tettonico e vulcanico, fenomeni franosi e instabilità pedologica)
- Fattori che incidono negativamente sulla diversità biologica (superficie in stato di degrado, frammentazione paesaggistica, sprawling urbano)

- Vulnerabilità Edilizia strutturale

I fattori che determinano i diversi profili di vulnerabilità strutturale del patrimonio edilizio sono tutti quelli riferibili alle modalità costruttive, ai materiali utilizzati, all'epoca di costruzione e allo stato di conservazione

- Vulnerabilità Infrastrutturale

Questa classe di vulnerabilità è applicata al complesso degli elementi infrastrutturali presenti nel sistema territoriale; i fattori di vulnerabilità

---

<sup>8</sup> <http://www.sopac.org/index.php/environmental-vulnerability-index>

considerati sono quelli che descrivono il livello di servizio assicurato da ciascun elemento infrastrutturale analizzato.

- **Vulnerabilità Culturale**

Questa classe di vulnerabilità è applicata al patrimonio storico culturale presente all'interno del territorio, e viene valutata in funzione dello stato di manutenzione (se noto) dei beni.

- **Vulnerabilità Socio-Economica**

Le variabili mediante cui valutare la vulnerabilità socio economica di un dato contesto territoriale sono così riassumibili (Cutter & Finch, 2007):

- **Disuguaglianza socioeconomica:** un tenore di vita familiare basso, tassi di disoccupazione alti, una forte incidenza della popolazione povera possono rappresentare fattori di vulnerabilità sociale rilevanti
- **Risorse finanziarie disponibili:** un buon livello di ricchezza, risparmio e impieghi familiari procapite favoriscono la capacità di risposta del sistema sociale agli eventi inattesi
- **Capitale umano:** buoni livelli di istruzione della popolazione favoriscono lo sviluppo di una struttura sociale resistente e resiliente
- **Servizi sociali:** una buona accessibilità ai servizi sanitari, per la comunicazione, l'educazione e la prima assistenza incide positivamente sulla resilienza del sistema sociale
- **Impegno civico:** un sistema sociale caratterizzato da un forte impegno civico (valutabile ad esempio attraverso un indicatore di partecipazione elettorale) risponde più efficacemente all'impatto di un evento inatteso
- **Criminalità:** rappresenta un segnale di disagio sociale e un fattore di vulnerabilità che può inasprirsi a seguito delle difficoltà derivanti da un evento inatteso.

**Vulnerabilità Sistemica Funzionale**

Questa classe di vulnerabilità concerne gli elementi infrastrutturali identificati come strategici secondo l'analisi sistemica esposta al precedente punto 6.2.4. I fattori mediante cui valutare tale classe di vulnerabilità sono quelli che danno conto del ruolo sistemico che ciascuna infrastruttura riveste all'interno del sistema territoriale.

#### **7.4 La funzione di regolazione**

Per rendere analizzabile i processi di gestione del sistema territoriale è stata definita una **funzione di regolazione** ottenuta attraverso la assunzione di un **processo**



**standard** costituito dalla sovrapposizione di più **segmenti di processo, o attività**, così definiti <sup>9</sup>:

- 1) Attività conoscitiva
- 2) Predisposizione di indirizzi
- 3) Apposizione di vincoli
- 4) Pianificazione
- 5) Valutazione ex-ante
- 6) Programmazione
- 7) Attuazione
- 8) Gestione e manutenzione
- 9) Autorizzazione
- 10) Monitoraggio & Valutazione ex-post

### **7.5 Il modello concettuale di riferimento**

Il modello verbale mediante cui si descrive in maniera sistemica il comportamento del sistema territoriale rispetto al rischio è il seguente:

- un pericolo è determinato dalla combinazione di diversi fattori causali;
- il pericolo agisce su date parti del territorio modificandone la configurazione;
- il territorio, data la sua natura sistemica, può alterare a sua volta la configurazione del pericolo:
  - amplificandone la magnitudo
  - trasmettendo, per il tramite delle relazioni fisiche e funzionali intercorrenti tra le componenti direttamente vulnerate dal pericolo ed il resto del sistema, il pericolo stesso eventualmente coinvolgendo e modificando lo stato di ulteriori componenti del sistema;
- la modificata configurazione delle diverse componenti del sistema può agire come fattore causale per la generazione di ulteriori pericoli;
- un pericolo globalmente inteso può o può non avere associato a sé un processo e quindi un soggetto normativamente identificato come responsabile della sua prevenzione;
- in generale, tuttavia, è ipotizzabile che alcuni dei fattori (causali, amplificativi o di interferenza) del pericolo vengano governati (pianificati, gestiti, monitorati) da una o più funzioni amministrative, a loro volta gestite da uno o più soggetti

---

<sup>9</sup> Per un approfondimento sulla funzione di regolazione si veda il lavoro dell'ing. Maurizio Ambrosanio

identificati normativamente, secondo finalità non direttamente riferibili agli scopi di prevenzione del pericolo.

Considerato quanto sopra, è stato definito il modello logico complessivo:

- ciascun Pericolo è causato o amplificato da uno o più Fattori di pericolosità;
- un Fattore di pericolosità per un Pericolo può essere generato dal verificarsi di un Pericolo differente (interferenza);
- ciascun Fattore di pericolosità, per il tramite dell'Elemento territoriale che lo rappresenta, può essere controllato da uno o più Processi;
- ciascun Processo può essere implementato mediante una o più Attività;
- ciascuna Attività può essere eseguita da uno o più Soggetti;
- l'esecuzione delle Attività in cui si articolano i Processi da parte dei Soggetti è regolato da Norme.

Per quanto attiene i fattori di pericolosità si è definito quanto segue:

- un fattore di pericolosità non può essere contemporaneamente causa e amplificazione di uno stesso evento;
- un fattore di pericolosità può essere causa di un evento e amplificazione di un altro evento.

Per quanto attiene i processi decisionali di gestione, una Norma può regolare:

- una catena di responsabilità pienamente definita:  
Processo → Attività → Soggetto
- una catena di responsabilità parzialmente definita:  
Processo → Soggetto  
In questo caso le Attività di ogni soggetto saranno definite in altre Norme
- una catena di responsabilità specifica per un singolo segmento del processo generale:  
Attività → Soggetto
- una catena di responsabilità ambigua (non completamente definita).

Gli Elementi del territorio possono dunque essere riferibili ad uno o più Fattori di pericolosità e essere gestiti da catene Processo-Attività-Soggetto-Norma che si compongono in maniera assolutamente variabile.

Questo modello trova la sua descrizione grafica di sintesi nello schema che segue, rimandando al capitolo successivo per la descrizione specifica dei singoli elementi appartenenti alle funzioni di pericolosità e di regolazione e alle relazioni tra essi.

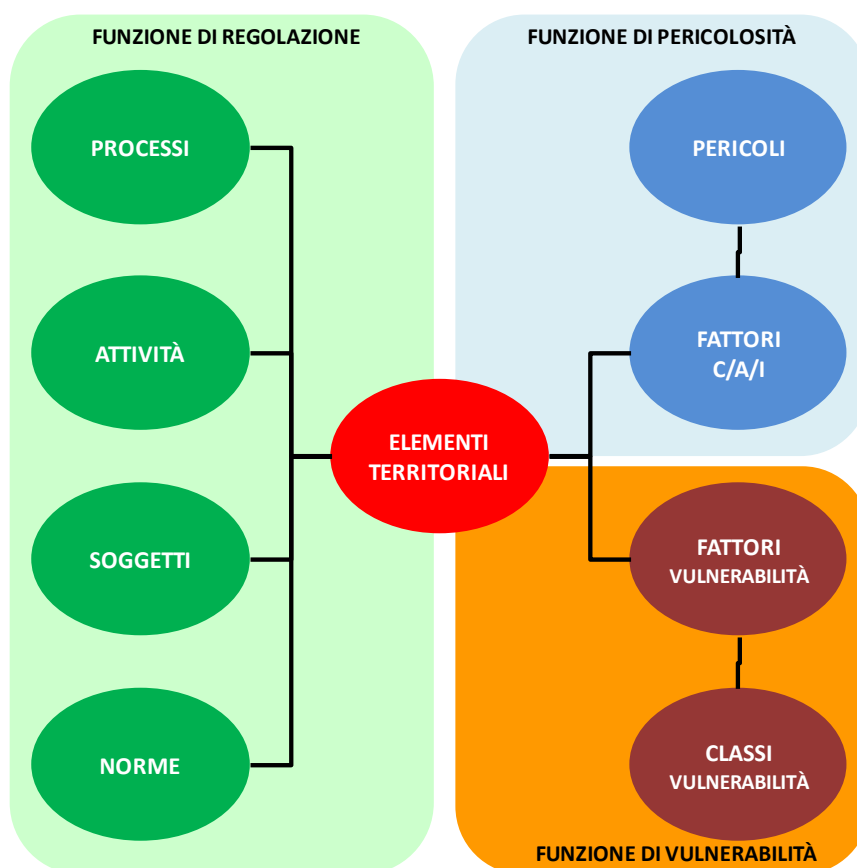


Fig. 17. Schema concettuale posto alla base del disegno del sistema di supporto alle decisioni

Quanto espresso nel presente capitolo vuole porre le basi per una sistematizzazione difficile ma quanto mai necessaria al fine di pervenire ad una gestione efficace e coordinata del territorio nella prospettiva della prevenzione dei danni generati da eventi calamitosi.

## **8 IL SISTEMA DI SUPPORTO ALLE DECISIONI**

### **8.1 Finalità**

Nell'ambito delle attività di dottorato è stato progettato e sviluppato uno sperimentale ma consistente sistema accessibile via web, finalizzato a supportare tutti i soggetti le cui attività hanno un effetto nel modificare le condizioni di sicurezza del territorio, nella prospettiva di minimizzazione efficace ed efficiente delle condizioni di rischio.

Il sistema si configura quindi come un *Decision Support System* in grado di fornire all'utente quadri informativi analitici o sintetici che possano da un lato indirizzare le diverse attività di prevenzione dei danni, dall'altro armonizzare le linee di attività di soggetti differenti operanti con finalità eterogenee e spesso del tutto avulse da una effettiva valutazione sull'evoluzione del sistema territoriale e la modifica delle condizioni di rischio.

Il sistema vuole essere rivolto ad utenti "non esperti" e raggiungere gli utilizzatori con semplicità. Per questo motivo si è scelto di sviluppare il sistema con un'architettura di tipo web, esso risulta quindi accessibile tramite un comune browser web da qualunque PC connesso ad internet. Entro alcuni limiti il sistema può essere utilizzato anche da dispositivi mobili.

Alla componente web si è affiancata quella geografica, al fine di rendere possibili operazioni altrimenti non realizzabili, soprattutto nel caso di utenti non tecnicamente competenti, e per consentire un'esperienza utente sicuramente migliore, con benefici in termini di efficacia del sistema stesso.

Il sistema è stato progettato e sviluppato per essere arricchito facilmente di altre funzionalità specifiche o di nuovi dati.

### **8.2 Utenti**

Le azioni di modifica del sistema territoriale sono in massima parte riconducibili a competenze di soggetti pubblici, che operano quindi nell'ambito di norme che ne regolano le attività. Gli utenti del sistema sono quindi riferibili al personale appartenente ad amministrazioni, enti, agenzie o comunque soggetti che operano nei più diversi settori ma che investono in maniera più o meno diretta elementi del territorio, modificandoli e condizionando l'azione di altri soggetti.

In riferimento alle basi dati costruite al momento per il sistema, si possono individuare i seguenti **raggruppamenti di soggetti a cui ricondurre gli utenti che possiamo definire users del sistema**:

- Regioni
- Province
- Comuni
- Autorità di Bacino
- Comunità Montane
- Consorzi di Bonifica
- Enti Parco
- Soggetti pubblici che svolgono servizi tecnici
- Soggetti privati di diversa tipologia

L'utente del sistema è "**non esperto**", ovvero non è necessariamente un conoscitore del funzionamento di sistemi informatici. Per questo il sistema è da intendersi utilizzabile al pari di una semplice navigazione web nei più diffusi portali e strumenti ad oggi disponibili.

Il **linguaggio** utilizzato nel sistema è anch'esso di estrema semplicità, messaggi esplicativi lo rendono utilizzabile senza necessità di un'estesa attività formativa, dove possibile è stato mantenuto il linguaggio presente in normativa, al fine di mantenere un'uniformità tra utenti di diversa estrazione tecnica o professionale.

L'utilizzo dell'informazione geografica ha due rilevanti pregi:

- da un lato, tramite una semplice navigazione su mappa, è possibile **svolgere direttamente nel sistema e su web operazioni geografiche** altrimenti di difficile realizzazione da parte di utenti che non utilizzano strumenti a base geografica
- dall'altro, la rappresentazione geografica consente di rendere **l'esperienza utente** più semplice e accattivante, contribuendo a superare le normali barriere all'utilizzo di nuovi sistemi da parte di molte categorie di utenti

Parallelamente agli *users* del sistema è identificata la categoria di utente *administrator* che opera nel modificarne il funzionamento e il contenuto informativo. A tale utente non ci riferiremo mai nel seguito, essendo la sua operatività di tipo tradizionale, mentre verrà posta l'attenzione sulle funzionalità e sui contenuti del sistema effettivamente rilevanti.

### **8.3 Use cases**

Si riporta di seguito la specificazione dei casi d'uso progettati. Questi sono legati fondamentalmente ad una consultazione dei dati in corrispondenza di differenti obiettivi conoscitivi. È stata infatti posta l'attenzione sugli scenari di utilizzo del sistema da parte degli utenti finali e non sul suo aggiornamento, ipotizzato essere in un primo momento demandato ad un utente di più alto profilo operante in fase di manutenzione del sistema stesso. Ciò comunque non esclude una flessibilità del sistema all'inserimento di nuove informazioni, dato che le interfacce di consultazione risultano indipendenti dal contenuto delle strutture presenti nel database. L'operazione di aggiornamento potrebbe essere supportata con idonee interfacce di tipo standard, la cui realizzazione è demandata a ulteriori sviluppi del sistema stesso e ad una sua auspicabile effettiva diffusione presso utenti che necessitano di tali interfacce.

<b>Caso d'uso</b>	<b>MULTIRISK_FACTORS</b>
<b>Attori</b>	Tutti gli utenti <i>users</i>
<b>Input</b>	Elementi territoriali presenti in una area geografica
<b>Precondizioni</b>	Individuazione di un'area geografica
<b>Output</b>	Fattori di pericolosità presenti nell'area geografica che causano o amplificano diversi pericoli
<b>Postcondizioni</b>	na
<b>Descrizione</b>	<p><i>Scenario:</i></p> <p>Gli attori hanno la necessità di pianificare ed attuare le strategie di <b>prevenzione</b> migliori, secondo la normativa vigente ed in coordinamento con i processi decisionali propri di tutti i soggetti coinvolti.</p> <p><i>Obiettivo conoscitivo:</i></p> <p>In tale contesto vogliono individuare quali sono i <b>fattori di pericolosità</b> presenti nel territorio di interesse.</p> <p><i>Flusso delle operazioni:</i></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. L'utente seleziona un'area geografica di interesse</li><li>2. Il sistema individua gli elementi geografici presenti nell'area selezionata e i fattori di pericolosità ad essi connessi</li><li>3. Vengono presentati all'utente l'elenco degli elementi territoriali selezionati e i fattori di pericolosità ad essi connessi</li></ol>

<b>Caso d'uso</b>	<b>MULTIRISK_FACTORS_STRATEGIC</b>
<b>Attori</b>	Tutti gli utenti <i>users</i>
<b>Input</b>	Fattori di pericolosità presenti nell'area geografica
<b>Precondizioni</b>	Completamento caso d'uso MULTIRISK_FACTORS
<b>Output</b>	Fattori di pericolosità strategici
<b>Postcondizioni</b>	na
<b>Descrizione</b>	<p><i>Scenario:</i></p> <p>Gli attori hanno la necessità di pianificare ed attuare le strategie di <b>prevenzione</b> migliori, secondo la normativa vigente ed in coordinamento con i processi decisionali propri di tutti i soggetti coinvolti.</p> <p><i>Obiettivo conoscitivo:</i></p> <p>In tale contesto vogliono identificare i <b>fattori di pericolosità strategici</b>, ovvero che ricorrono nel causare o amplificare più pericoli nel territorio di interesse.</p> <p><i>Flusso delle operazioni:</i></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. L'utente ha completato il flusso di operazioni del caso d'uso MULTIRISK_FACTORS</li><li>2. L'utente ordina i risultati alfanumerici in base ai fattori di pericolosità e individua quel/quei fattore/i che ricorrono nel causare o amplificare più pericoli</li></ol>



<b>Caso d'uso</b>	<b>MULTIRISK_PROCESSES</b>
<b>Attori</b>	Tutti gli utenti <i>users</i>
<b>Input</b>	Elementi territoriali presenti in una area geografica
<b>Precondizioni</b>	Individuazione di un'area geografica
<b>Output</b>	Processi, attività, soggetti, norme connessi con gli elementi territoriali presenti in una area geografica
<b>Postcondizioni</b>	na
<b>Descrizione</b>	<p><i>Scenario:</i></p> <p>Gli attori hanno la necessità di pianificare ed attuare le strategie di <b>prevenzione</b> migliori, secondo la normativa vigente ed in coordinamento con i processi decisionali propri di tutti i soggetti coinvolti.</p> <p><i>Obiettivo conoscitivo:</i></p> <p>In tale contesto vogliono identificare:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• I soggetti con cui occorre coordinarsi per agire sugli elementi territoriali individuati</li> <li>• I processi nell'ambito in cui operano i diversi soggetti, al fine di coordinarsi con quei soggetti che operano nello stesso processo dell'utente</li> <li>• Le attività che svolgono i diversi soggetti, per un quadro delle competenze definite in normative di tipo e livello differente</li> <li>• Le norme che regolano quanto sopra individuato</li> </ul> <p><i>Flusso delle operazioni:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. L'utente seleziona un'area geografica di interesse</li> <li>2. Il sistema individua gli elementi geografici presenti nell'area selezionata e, per ciascun elemento, le relative associazioni con soggetti, processi, attività, norme</li> <li>3. Viene presentato all'utente l'elenco degli elementi territoriali selezionati e per ciascun elemento le differenti combinazioni di: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Soggetti</b> le cui attività interessano gli elementi individuati</li> <li>• I <b>processi</b> nell'ambito dei quali i soggetti operano</li> <li>• Le <b>attività</b> di competenza dei soggetti</li> <li>• Le <b>norme</b> che regolano le attività dei soggetti</li> </ul> </li> </ol>

	<p>4. L'utente può individuare, tramite strumenti di ordinamento e filtro:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Tutti i soggetti che operano su uno stesso elemento</li><li>• Tutti i soggetti che operano nell'ambito di un medesimo processo, eventualmente su uno stesso elemento</li><li>• Tutti i soggetti che svolgono la medesima attività, eventualmente su uno stesso elemento</li><li>• Le norme che regolano le medesime attività o i medesimi processi</li></ul>
--	---

<b>Caso d'uso</b>	<b>SINGLERISK_FACTORS</b>
<b>Attori</b>	Tutti gli utenti <i>users</i>
<b>Input</b>	Elementi territoriali presenti in una area geografica, pericolo target
<b>Precondizioni</b>	Individuazione di un'area geografica
<b>Output</b>	Fattori di pericolosità presenti nell'area geografica che causano o amplificano un singolo pericolo
<b>Postcondizioni</b>	na
<b>Descrizione</b>	<p><i>Scenario:</i></p> <p>Gli attori hanno la necessità di pianificare ed attuare le strategie di <b>prevenzione</b> per un singolo pericolo target di propria competenza, secondo la normativa vigente ed in coordinamento con i processi decisionali propri di tutti i soggetti coinvolti.</p> <p><i>Obiettivo conoscitivo:</i></p> <p>In tale contesto vogliono individuare quali sono i <b>fattori di pericolosità</b> presenti nel territorio di interesse che contribuiscono a causare o amplificare il pericolo target:</p> <p><i>Flusso delle operazioni:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. L'utente seleziona un'area geografica di interesse</li> <li>2. Il sistema individua gli elementi geografici presenti nell'area selezionata e i fattori di pericolosità ad essi connessi</li> <li>3. Viene presentato all'utente l'elenco degli elementi territoriali selezionati e i fattori di pericolosità ad essi connessi</li> <li>4. L'utente seleziona il pericolo target e visualizza i fattori di pericolosità connessi alla pericolosità selezionata</li> </ol>

<b>Caso d'uso</b>	<b>MULTIRISK_INTERFERENCE_FACTORS</b>
<b>Attori</b>	Tutti gli utenti <i>users</i>
<b>Input</b>	Fattori di pericolosità presenti nell'area geografica
<b>Precondizioni</b>	Individuazione di un'area geografica
<b>Output</b>	Fattori di pericolosità strategici
<b>Postcondizioni</b>	na
<b>Descrizione</b>	<p><i>Scenario:</i></p> <p>Gli attori hanno la necessità di pianificare ed attuare le strategie di <b>prevenzione</b> migliori, secondo la normativa vigente ed in coordinamento con i processi decisionali propri di tutti i soggetti coinvolti.</p> <p><i>Obiettivo conoscitivo:</i></p> <p>In tale contesto vogliono identificare i <b>fattori di pericolosità di interferenza</b>, ovvero quei fattori causali o di amplificazione per un determinato evento pericoloso che possono essere attivati dal verificarsi di un evento pericoloso di altro tipo nel territorio di interesse.</p> <p>Tali fattori assumono particolare rilevanza per il delicato ruolo che giocano nella concatenazione di fenomeni pericolosi (effetto domino).</p> <p><i>Flusso delle operazioni:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. L'utente seleziona un'area geografica di interesse</li> <li>2. Il sistema individua gli elementi geografici presenti nell'area selezionata e i fattori di interferenza ad essi connessi</li> <li>3. Vengono presentati all'utente l'elenco degli elementi territoriali selezionati, i fattori di interferenza ad essi connessi, gli eventi che possono attivarli e i pericoli da essi causati o amplificati</li> </ol>

#### **8.4 Funzionalità del sistema**

A partire dai casi d'uso sopra definiti sono state identificate le funzionalità necessarie per il sistema.

Queste sono state quindi progettate logicamente e sviluppate. Si riporta di seguito una breve descrizione delle diverse funzionalità:

- **Visualizzazione dati geografici**

Il sistema si compone di una parte di tipo webGIS, in cui le informazioni geografiche vengono presentate all'utente con la corretta contestualizzazione. Le informazioni sono sovrapposte ad una mappa di sfondo. L'utente ha la possibilità di scegliere quale sfondo utilizzare tra:

- OpenStreetMap
- Google Map
- Google Satellite

L'utente ha a disposizione gli strumenti per navigare nella mappa:

- zoom in/out
- pan

Per ciascun elemento geografico è definita una opportuna tematizzazione e gli elementi sono sovrapposti secondo la loro caratteristica dimensionale, ovvero i punti sono sovrapposti agli elementi lineari ed entrambi vengono visualizzati sovrapposti agli elementi poligonali.

- **Selezione informazioni da visualizzare e legenda**

Il sistema presenta una vera e propria TOC in cui i diversi layer sono elencati ed in cui è possibile operare il loro "spegnimento" nonché visualizzarne le simbologie.

L'utente ha la possibilità di visualizzare o meno le informazioni in base alla loro caratteristica dimensionale.

I diversi elementi hanno una simbologia associata che l'utente può visualizzare al di sotto del nome del layer.

- **Visualizzazione dati alfanumerici**

Il sistema presenta all'utente il complesso dei dati alfanumerici presenti nel database ovvero filtrati tramite interrogazioni geografiche o alfanumeriche (v.sotto).

I dati sono presentati in forma tabellare e suddivisi in differenti tabelle, per una loro agevole gestione in funzione degli obiettivi conoscitivi. Le

componenti legate ai fattori di pericolosità e ai pericoli vengono infatti rappresentati in una tabella mentre in un'altra sono rappresentati gli elementi relativi ai processi decisionali, ovvero i soggetti, i processi, le attività e le norme.

- **Selezione area geografica**

L'utente ha la possibilità di individuare un'area geografica. Nel primo prototipo di sistema qui presentato la selezione è costituita da uno strumento di selezione di prossimità; in successivi sviluppi potranno essere sviluppate selezioni:

- di singoli elementi
- su aree poligonali definite dall'utente
- su porzioni amministrative.

La selezione di prossimità consente all'utente di definire liberamente una distanza (in metri) e di individuare un qualsiasi punto in geografia tramite un semplice clic del mouse. Il sistema identifica quindi un'area circolare in cui il centro è costituito dal punto individuato dall'utente ed il raggio dalla distanza anch'essa scelta dall'utente.

Il sistema verifica che la distanza inserita sia del formato corretto.

- **Selezione di elementi in geografia**

A partire dall'area geografica individuata secondo le modalità sopra descritte, il sistema seleziona gli elementi presenti nell'area. La condizione di presenza è definita in base all'intersezione, ovvero vengono selezionati tutti gli elementi che ricadono totalmente ma anche in parte all'interno dell'area selezionata. Gli elementi selezionabili sono di dimensioni puntuali, lineari o poligonali indistintamente.

- **Selezione informazioni alfanumeriche dagli elementi geografici**

Nel caso in cui si operi la selezione di elementi in geografia sopra descritta, le informazioni alfanumeriche tabellari presentate all'utente vengono filtrate dal sistema in base agli elementi geografici selezionati.

Sugli elementi visualizzati è possibile operare successivi ordinamenti e filtri.

- **Ordinamento delle informazioni alfanumeriche**

L'utente ha la possibilità, per ciascun campo delle tabelle alfanumeriche, di ordinare gli elementi presenti al momento dell'operazione, quindi sia tutti gli elementi presenti nel db oppure i record già filtrati a seguito della selezione di informazioni alfanumeriche dagli elementi geografici e/o della selezione di elementi alfanumerici.

- **Selezione di elementi alfanumerici**

Tutte le informazioni alfanumeriche possono essere filtrate tramite selezione, anche contemporanea, di un valore per ciascun campo.

- **Ricerca di elementi alfanumerici**

È possibile ricercare all'interno di tutte le informazioni alfanumeriche contemporaneamente un testo liberamente inserito dall'utente.

- **Annullamento delle selezioni**

Questa funzione è utile per annullare le selezioni, geografiche e/o alfanumeriche, precedentemente operate dall'utente, per effettuare nuove operazioni su dati non filtrati.

## **8.5 Realizzazione e popolamento del database**

### **8.5.1 Realizzazione del database**

Il Sistema sviluppato ha richiesto la progettazione e lo sviluppo di una banca dati geografica complessa, in grado di integrare e gestire i molteplici livelli informativi previsti nell'applicazione.

Come già descritto in precedenza, la banca dati predisposta ha una componente geografica ed una componente puramente alfanumerica.

La banca dati è stata progettata prevedendo tabelle di tipo "anagrafica", in cui gli elementi informativi di interesse sono descritti mediante un codice identificativo univoco e mediante un attributo descrittivo, e di tipo "relazionamento", necessarie per la gestione delle relazioni tra gli elementi rappresentati nella banca dati.

La struttura della banca dati prevede quindi una serie di relazioni che collegano gli elementi informativi elaborati.

La banca dati è stata creata utilizzando la tecnologia PostgreSQL con la relativa cartuccia spaziale PostGIS, strumento opensource largamente diffuso, di cui si è già parlato nei precedenti paragrafi.

La creazione delle tabelle e delle relazioni è stata realizzata mediante scrittura di query in linguaggio SQL, utilizzando lo strumento PgAdmin.

Il database è composto n.10 tabelle di tipo "anagrafica", n.9 di tipo "relazionamento" e n.3 feature class, di cui nel seguito si riporta un elenco con una breve descrizione.

#### **Tabelle di tipo "anagrafica"**

4. ANA\_ATTIVITA: anagrafica delle attività di interesse come definite nei riferimenti normativi analizzati
5. ANA\_ATTRIBUTO: anagrafica dell'attributo dell'elemento territoriale che caratterizza lo stesso elemento rispetto allo specifico fattore di pericolosità
6. ANA\_ELEMENTI: anagrafica degli elementi territoriali censiti
7. ANA\_FATTORI: anagrafica dei fattori di pericolosità, così come definiti precedentemente
8. ANA\_LEGGI: anagrafica delle leggi prese a riferimento per la individuazione delle attività, dei processi e dei soggetti di riferimento
9. ANA\_PERICOLO: anagrafica delle pericolosità di riferimento
10. ANA\_PR\_A\_S\_L: anagrafica degli identificativi univoci delle combinazioni tra processi, attori, soggetti e leggi
11. ANA\_PROCESSI: anagrafica dei processi di interesse come identificati nei riferimenti normativi analizzati
12. ANA\_SOGGETTI: anagrafica dei soggetti di interesse come identificati nei riferimenti normativi analizzati
13. ANA\_TIPO\_FATTORE: anagrafica delle tipologie di fattori di pericolosità di interesse come indicati nei riferimenti normativi analizzati

#### **Tabelle di tipo "relazionamento"**

14. REL\_A\_PRASL: tabella di relazionamento tra le attività e gli identificativi univoci delle combinazioni tra processi, attori, soggetti e leggi
15. REL\_E\_ATTR: tabella di relazionamento tra gli elementi territoriali e i relativi attributi che li caratterizzano rispetto allo specifico fattore di pericolosità
16. REL\_E\_F: tabella di relazionamento tra gli elementi e i fattori di pericolosità
17. REL\_E\_PR: tabella di relazionamento tra gli elementi e i processi di riferimento
18. REL\_INTERF: tabella di relazionamento tra un fattore di pericolosità associato ad una pericolosità e la pericolosità di diverso tipo, qualora presente, in grado di generare lo stesso fattore di pericolosità



19. REL\_L\_PRASL: tabella di relazionamento tra le leggi e gli identificativi univoci delle combinazioni tra processi, attori, soggetti e leggi
20. REL\_P\_F: tabella di relazionamento tra le pericolosità analizzate e i fattori di pericolosità in grado di causare/amplificare le stesse pericolosità
21. REL\_PR\_PRASL: tabella di relazionamento tra i processi e gli identificativi univoci delle combinazioni tra processi, attori, soggetti e leggi
22. REL\_S\_PRASL: tabella di relazionamento tra i soggetti e gli identificativi univoci delle combinazioni tra processi, attori, soggetti e leggi

**Feature class**

23. GEO\_P: feature class contenente gli elementi territoriali censiti, rappresentabili con geometria di tipo puntuale
24. GEO\_L: feature class contenente gli elementi territoriali censiti, rappresentabili con geometria di tipo lineare
25. GEO\_A: feature class contenente gli elementi territoriali censiti, rappresentabili con geometria di tipo areale

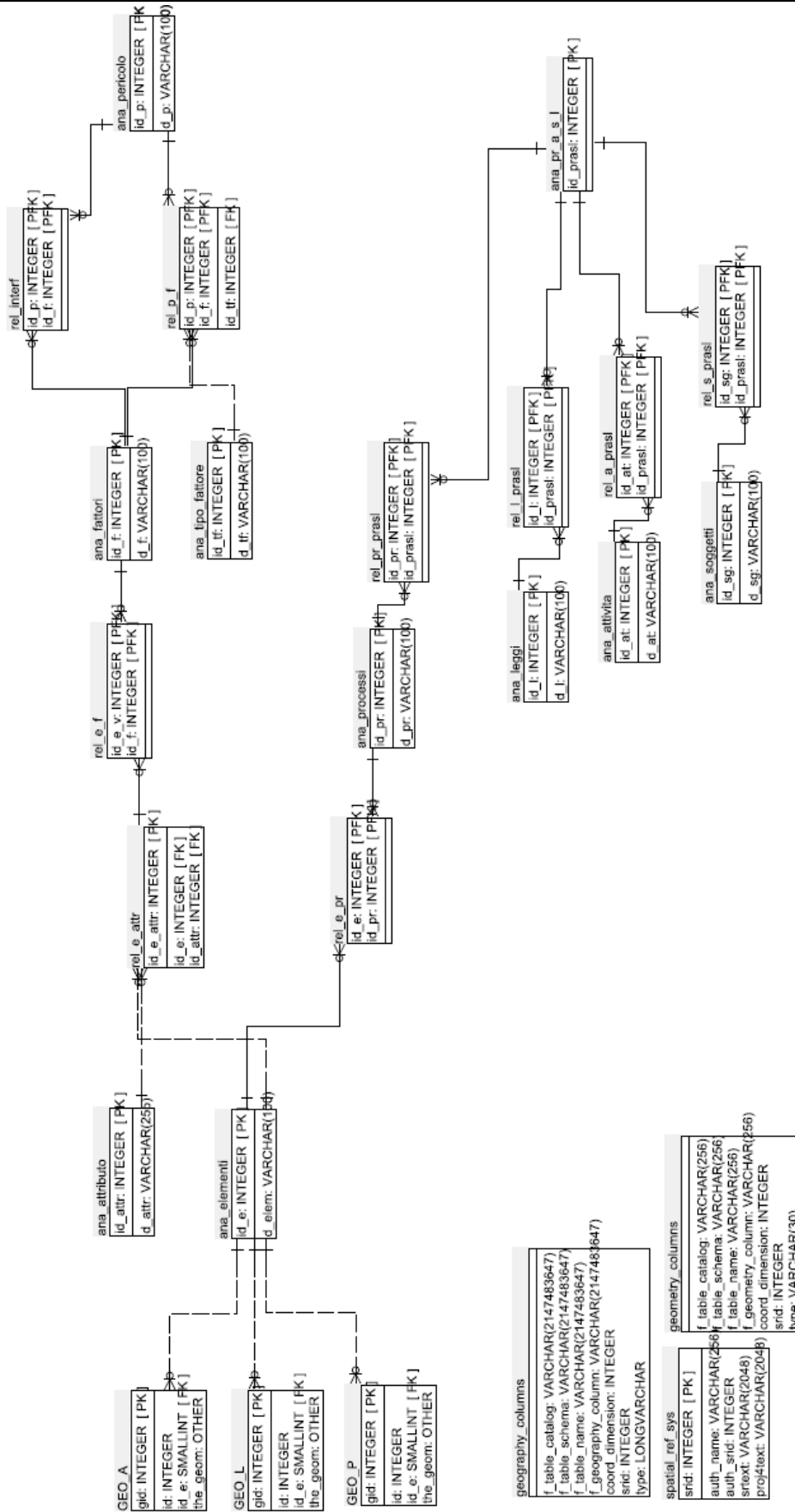


Fig. 18. Schema del database

### **8.5.2 Popolamento del database**

Dal punto di vista informativo, la banca dati contiene tutti gli elementi necessari per fornire una risposta alle esigenze informative derivanti dall'utilizzo dell'applicazione, come precedentemente descritto negli use cases.

La banca dati è organizzata in tre componenti informative:

- componente geografica
- componente alfanumerica relativa alle pericolosità
- componente alfanumerica relativa ai processi di gestione del territorio

La componente informativa di tipo geografico è composta, come descritto in precedenza, da tre feature class distinte unicamente in base alla caratteristica geometrica dell'elemento (puntuale, lineare, poligonale), relative agli elementi del territorio rappresentabili geograficamente di interesse per l'applicazione. Tali elementi sono registrati nel database in maniera omogenea nelle tre tabelle, al fine di rendere le interrogazioni più efficienti e di trattare elementi anche diversi in maniera omogenea per soddisfare le finalità conoscitive dell'utente.

Gli elementi del territorio di interesse sono stati censiti in contesti specifici oggetto di attività di sperimentazione applicativa.

Dalla componente geografica dipartono le due componenti informative alfanumeriche relative alle pericolosità e ai processi di gestione del territorio.

La prima focalizza l'attenzione sulle pericolosità, sui fattori di pericolosità causali, di amplificazione e di interferenza, mettendoli in relazione con gli elementi geografici e con i relativi attributi alfanumerici.

Nello specifico, la prima componente informativa si specializza sull'analisi di due pericolosità ritenute di primaria importanza per il presente lavoro di dottorato, ed in particolare il pericolo idrogeologico (frana ed esondazione). Per ciascuna pericolosità, sono stati studiati e codificati i processi di tipo causale e amplificativo e in relazione all'analisi condotta ne sono stati individuati i fattori di pericolosità causali e di amplificazione, secondo le definizioni esposte nei precedenti paragrafi. In seguito sono stati descritti gli elementi territoriali ed i relativi attributi ritenuti di interesse ai fini dello studio dei suddetti fattori di pericolosità, così da poter gestire ed analizzare tutte le componenti informative sviluppate anche dal punto di vista geografico. Inoltre sono stati definiti e analizzati i processi di interferenza, laddove si è riscontrata la possibilità che un fattore associato ad una pericolosità possa essere generato da un secondo evento calamitoso di altro tipo, ingenerando quindi un effetto domino nel verificarsi degli eventi.

In relazione alle due pericolosità analizzate, sono stati identificati:

- n.44 fattori di pericolosità, di cui:
  - n.20 di tipo causale
  - n.15 di amplificazione
  - n.9 di interferenza

La seconda componente informativa ha focalizzato l'attenzione sullo studio e sulla analisi dei processi di gestione riferiti agli elementi territoriali ritenuti di interesse ai fini del presente lavoro di dottorato. In particolare si è scelto, come prima applicazione, di fare riferimento ad una norma di carattere nazionale che recepisce Direttive a livello europeo (Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale" con ss.mm.ii.), e ad una norma di carattere locale, utilizzando una legge regionale della Regione Lazio (L.R. 11 Dicembre 1998, n. 53 "Organizzazione regionale della difesa del suolo in applicazione della legge 18 maggio 1989, n. 183" con ss.mm.ii.). Per ciascun processo territoriale di riferimento ne sono state analizzate le caratteristiche principali, definendo per ciascuno di essi le attività che lo compongono, i soggetti di riferimento e le leggi che lo regolano nonché gli elementi territoriali interessati.

In relazione alle due pericolosità analizzate, sono stati identificati:

- n.11 processi
- n.12 attività
- n.11 soggetti
- n.2 leggi

L'analisi di molteplici aspetti concernenti la materia, come rintracciabile nella bibliografia, ha portato alla definizione e alla formalizzazione di un ampio e originale quadro informativo grazie ad una approfondita attività di ricerca.

## **8.6 Realizzazione del sistema**

La realizzazione del sistema si è concretizzata, per ciascuna componente, in una fase di progettazione ed in una seconda fase di completa implementazione della componente stessa, incluso lo sviluppo software, secondo le finalità e le specifiche descritte nel precedente capitolo.

La progettazione ha rappresentato l'insieme delle attività mirate ad individuare la soluzione implementativa migliore allo scopo di centrare gli obiettivi funzionali (e quelli non funzionali) attesi dall'utilizzatore finale. Queste attività possono essere di varia natura, possono essere svolte in tempi e modi diversi a seconda dell'approccio utilizzato, ma in generale aiutano l'architetto e il team di sviluppo a prendere decisioni importanti, spesso di natura strutturale.

La progettazione condivide con la programmazione la tendenza ad astrarre la rappresentazione delle informazioni e le sequenze logiche di elaborazione, ma il livello di dettaglio nei due casi è differente. La progettazione costruisce una rappresentazione che riguarda diversi aspetti, si concentra sulla struttura del sistema e sulle relazioni esistenti fra le parti costituenti, identifica le operazioni logiche che devono essere svolte, individua le modalità con cui il sistema può interagire con il mondo esterno.

Il risultato della progettazione è la definizione dell'architettura del sistema, intendendo con questo termine l'organizzazione strutturale del sistema stesso, che comprende i suoi componenti software, le proprietà visibili esternamente di ciascuno di essi (l'interfaccia dei componenti) e le relazioni fra le parti.

Pensare all'architettura di un sistema software semplicemente come alla sua struttura è peraltro estremamente riduttivo. In realtà l'architettura è molto di più.

Essa include le modalità con cui le diverse parti si integrano e interagiscono a formare un tutt'uno, considera gli aspetti legati all'interoperabilità con i sistemi circostanti, rappresenta il livello con cui l'applicazione soddisfa i requisiti funzionali, comprende le caratteristiche non direttamente legate ai casi di utilizzo, ma orientate a favorire l'evoluzione nel tempo del sistema a fronte dei suoi cambiamenti strutturali e in relazione all'ambiente in cui esso è inserito (scalabilità, performance, manutenibilità, sicurezza, affidabilità, ecc.). L'architettura pertanto è una rappresentazione che permette all'architetto di analizzare l'efficacia del progetto per rispondere ai requisiti stabiliti, di considerare e valutare le alternative strutturali in una fase in cui i cambiamenti abbiano ancora un impatto relativo sull'andamento del progetto e sul risultato finale e di gestire in modo appropriato i rischi che sono collegati alla progettazione e alla realizzazione del software.

La definizione data di architettura richiama il concetto di "componente software" nella sua forma più generale. Per componente software si intende qualsiasi entità facente parte di un sistema, a diversi livelli di dettaglio e granularità, dal semplice modulo applicativo (per esempio, una classe in un'applicazione basata sul paradigma ad oggetti) al sottosistema complesso (per esempio, un DBMS). Ciascun componente entra a far parte dell'architettura in funzione del ruolo che esso

ricopre. Ogni componente presenta caratteristiche peculiari (nella definizione denominate "proprietà visibili esternamente") che influenzano il modo con cui ciascuna parte del sistema comunica e interagisce con le altre. L'architettura considera gli aspetti che sono inerenti la comunicazione tra le parti, si focalizza sulle modalità di interazione, tralasciando i dettagli di funzionamento interni.

Nei moderni sistemi software (per esempio, le applicazioni basate sul paradigma ad oggetti piuttosto che quelle orientate ai servizi) le parti interagiscono tra loro per mezzo di interfacce/contratti che suddividono in modo netto ciò che non è direttamente accessibile dall'esterno da ciò che è pubblico. L'architettura si concentra unicamente sul secondo aspetto tra i due, tralasciando i dettagli interni che in generale non influenzano (o quasi) il modo con cui i componenti si relazionano tra loro. Le interazioni fra i componenti possono essere semplici quanto una chiamata a funzione da un modulo applicativo ad un altro piuttosto che essere particolarmente complesse quanto un protocollo di comunicazione o un meccanismo di serializzazione.

In definitiva, alla luce di quanto detto finora, risulta estremamente appropriata la definizione di architettura così come compare nello standard ANSI/IEEE Std 1471-2000:

*"L'organizzazione basilare di un sistema, rappresentato dalle sue componenti, dalle relazioni che esistono tra di loro e con l'ambiente circostante, e dai principi che governano la sua progettazione ed evoluzione."*

In questo approccio preliminare intendiamo utilizzare i principi SOA che implicitamente garantiscono i requisiti di modularità, scalabilità ed interoperabilità. Da questo deriva una collezione di moduli indipendenti fra loro che colloquiano attraverso i servizi WEB.

**Il risultato finale è un sistema a cui una molteplicità di utenti possono accedere tramite web con un comune browser internet.**

Nell'ambito di un'architettura SOA è quindi possibile modificare, in maniera relativamente più semplice, le modalità di interazione tra i servizi, oppure la combinazione nella quale i servizi vengono utilizzati nel processo, così come risulta più agevole aggiungere nuovi servizi e modificare i processi per rispondere alle specifiche esigenze: il processo non è più vincolato da una specifica piattaforma o da un'applicazione ma può essere considerato come un componente di un processo più ampio e quindi riutilizzato o modificato.

L'architettura orientata ai servizi è particolarmente adatta per le situazioni che presentano una discreta complessità di processi e applicazioni, dal momento che agevola l'interazione tra le diverse realtà aziendali; permette quindi alle attività di business di sviluppare processi efficienti sia internamente che esternamente, e parallelamente ne aumenta la flessibilità e l'adattabilità. Con questo si raggiunge l'ulteriore requisito di adattabilità del sistema e l'inclusione di software pronto o futuro.

### **8.6.1 Caratteristiche dell'architettura**

L'architettura utilizzata può garantire i requisiti di qualità previsti dagli standard indicati dal nuovo Codice dell'Amministrazione Digitale e dal **CNIPA** (oggi DigitPA). Secondo quanto previsto dalla normativa ISO/IEC 9126, le caratteristiche di alto livello e le sotto-caratteristiche da considerare per la valutazione della qualità di un'applicazione software sono:

- **Funzionalità:** è la presenza nel prodotto software delle funzioni e delle proprietà che lo rendono adeguato al soddisfacimento delle esigenze dell'utente in termini di:
  - **Adeguatezza:** indica la presenza e l'appropriatezza di un set di funzioni per i compiti specificati. Il sistema proposto soddisfa tutte le funzionalità utili per le attività di consultazione e analisi di dati territoriali e alfanumerici.
  - **Accuratezza:** indica quanto il disegno e l'implementazione di una applicazione software soddisfano le necessità informative. Il sistema rispetta le necessità informative.
  - **Interoperabilità:** indica la capacità di interazione di un prodotto software con altri sistemi e/o applicazioni. Il sistema è interoperabile con sistemi che espongono servizi WMS/WFS/WCS, può in prospettiva integrare totalmente dati territoriali a disposizione degli utenti e acquisire dati alfanumerici da Banche dati esistenti. Analogamente il sistema può esporre servizi WMS/WFS/WCS verso sistemi esterni.
  - **Aderenza:** indica l'aderenza del prodotto agli standard relativi all'applicazione o alle convenzioni o alle norme di legge e simili prescrizioni. Il sistema è conforme ai principali standard OCG riguardo all'interscambio di dati geografici (WMS, WFS e WCS) e garantisce l'integrazione/interoperabilità con prodotti di terze parti che costituiscono standard de facto nei sistemi informativi territoriali; l'aderenza agli standard di interscambio e l'utilizzo di un linguaggio

direttamente riferibile alla normativa pongono il sistema in linea con la direttiva europea INSPIRE.

- **Sicurezza:** indica la capacità del software a prevenire accessi non autorizzati, sia accidentali che intenzionali, ai programmi o ai dati. Nel sistema realizzato la sicurezza è realizzata tramite un accesso esclusivo al database da parte dei servizi realizzati e può essere estesa al livello applicativo.
- **Affidabilità:** è la capacità di un prodotto software di mantenere il livello di servizio definito, per un tempo specificato e sotto condizioni specificate.
  - **Maturità:** indica la frequenza di errori rilevati durante l'utilizzo reale. Il sistema gode del sostegno della principale fondazione per l'open source e integra altri prodotti open source maturi ed affidabili.
  - **Tolleranza ai guasti:** indica l'abilità del software a mantenere un livello specificato di prestazioni in casi di errori software o di infrazioni della sua interfaccia. Il sistema pensato è in linea con i requisiti di robustezza.
  - **Ripristinabilità:** fa riferimento alla capacità di ristabilire il suo livello di prestazioni e recupero dei dati corrotti in caso di un guasto e del tempo e dello sforzo necessari a ciò. Il ripristino del sistema non richiede un'elevata specializzazione da parte dell'utente.
- **Usabilità:** è lo sforzo richiesto all'utente per imparare, utilizzare, preparare gli input ed interpretare gli output di un prodotto software.
  - **Comprensibilità:** indica lo sforzo necessario per conoscere i concetti logici e le modalità di applicazione del prodotto software. Il sistema fa uso di metafore logiche (mappa principale, pannelli informativi, legenda, ecc.) e paradigmi di interazione facilmente comprensibili e noti ad utenti di applicazioni web che hanno, quindi, immediata familiarità con il prodotto.
  - **Apprendibilità:** indica lo sforzo necessario per imparare l'applicazione in termini di input, controllo delle operazioni ed output. Grazie alla facilità di comprensione dell'interfaccia utente i tempi necessari per l'apprendimento sono ridotti al minimo (il sistema può essere utilizzato senza necessità di un corso formativo specifico).
  - **Operabilità:** si riferisce allo sforzo dell'utente per eseguire e per gestire le operazioni svolte dal prodotto software. L'interfaccia utente è strutturata in modo da rendere facilmente disponibili i comandi e i moduli opzionali, organizzati secondo tool-bar e pannelli strutturati e comprensibili. È possibile per l'utente controllare la visualizzazione dei singoli pannelli al fine di facilitare l'operatività.



- **Efficienza:** indica il livello di sfruttamento delle risorse disponibili da parte del prodotto software per mantenere il livello di servizio definito sotto condizioni specificate.
- **Prestazioni:** fa riferimento ai tempi di risposta e di elaborazione di un prodotto software e ai livelli prestazionali delle sue funzioni. I tempi di risposta del sistema lo pongono ai vertici delle soluzioni Web, grazie all'utilizzo di tecniche di paginazione delle richieste al Database per le componenti alfanumeriche e di buffering delle mappe di gestione delle tiles in caso di immagini raster (strutturazione in mattonelle per un immediato caricamento).
- **Sfruttamento delle risorse:** si riferisce alla quantità di risorse usate nello svolgere le sue funzioni e alla durata di tale uso. Il sistema è multi-threaded e sfrutta appieno sistemi multi-core / multi-processor presentando caratteristiche di scalabilità sia verticale sia orizzontale.
- **Manutenibilità:** indica lo sforzo necessario per correggere gli errori e migliorare o estendere le funzionalità di un prodotto software per adeguarlo ai cambiamenti dell'ambiente organizzativo e/o tecnologico.
  - **Analizzabilità:** indica lo sforzo necessario per individuare le cause degli errori e per identificare le parti da modificare. Le funzioni di logging sono state posticipate ad una piena operatività del sistema.
  - **Modificabilità:** indica lo sforzo necessario per effettuare modifiche, eliminare errori o effettuare cambiamenti dell'ambiente. La soluzione proposta consente di generare dinamicamente applicazioni a partire da un Application Definition Resource e un template HTML; è inoltre possibile cambiare l'intero look and feel dell'applicazione attraverso un singolo CSS style sheet.
  - **Stabilità:** si riferisce al rischio di effetti inattesi delle modifiche. La modificabilità di interfacce grafiche, dati gestiti e funzionalità offerte è una caratteristica insita nel prodotto e come tale in grado di offrire elevata stabilità.
  - **Testabilità:** si riferisce allo sforzo necessario per validare le modifiche software. La maggior parte delle modifiche non richiede sviluppi ad hoc, ma semplici operazioni di configurazione, facilmente verificabili prima del rilascio in produzione.
- **Portabilità:** è la caratteristica di un prodotto software di essere facilmente trasferibile da un ambiente organizzativo e/o tecnologico ad un altro.
  - **Adattabilità:** si riferisce alla capacità di adattarsi a differenti ambienti specificati senza operare altre azioni o mezzi oltre a quelli forniti per tale

scopo dal software considerato. E' garantito il supporto di piattaforme Linux e Microsoft Windows con web server Apache (anche su piattaforma Microsoft) e l'interfaccia cross-browser con supporto di diversi browser incluso Microsoft Internet Explorer, Mozilla Firefox, Apple Safari, Google Chrome e Opera.

- Installabilità: indica lo sforzo necessario per installare un prodotto software in un ambiente specificato. Il sistema non prevede difficoltà nell'installazione superiori ad analoghi sistemi web.
- Conformità: si riferisce agli attributi del software che lo rendono aderente agli standard o convenzioni relativi alla portabilità. E' garantita conformità agli standard dell'Open Geospatial Consortium (WMS, WFS e WCS) per i servizi WebGIS, allo standard OpenLayers per il mash-up di layer a livello client web.

### **8.6.2 Dettaglio dell'architettura**

Il sistema ha un'architettura web con una componente GIS per la gestione della cartografia. È strutturato in maniera modulare e scalabile per garantire possibili evoluzioni future e una più efficiente manutenibilità ed è esclusivamente sviluppato con librerie open-source per ridurre al minimo i costi relativi alle scelte tecnologiche.

La componente web GIS pubblicherà le mappe cartografiche attraverso servizi standard OGC 1.3.0 (Open GIS Consortium) ossia con i servizi WMS (eventualmente integrabili con servizi WFS-T e WCS). Su lato server è stato utilizzato GeoServer quale GIS Server, con server Apache e Apache Tomcat; su lato client si è invece utilizzato il linguaggio JavaScript e la libreria OpenLayers.

Per quanto riguarda invece il database è stato utilizzato PostgreSQL con estensione spaziale PostGIS in modo da gestire in un unico RDBMS (Relational Data Base Management System) sia i dati alfanumerici che spaziali.

Il sistema si compone pertanto dei seguenti ambienti:

- Web server Apache e Apache TomCat
- GIS server Geoserver e Tomcat, servizi OGC (WMS, WFS-T, WCS) e client OpenLayers personalizzato Javascript;
- Data server PostgreSQL con componente spaziale PostGIS.

Di seguito si riporta l'architettura logica del sistema realizzato, con l'annotazione del software di base utilizzato.

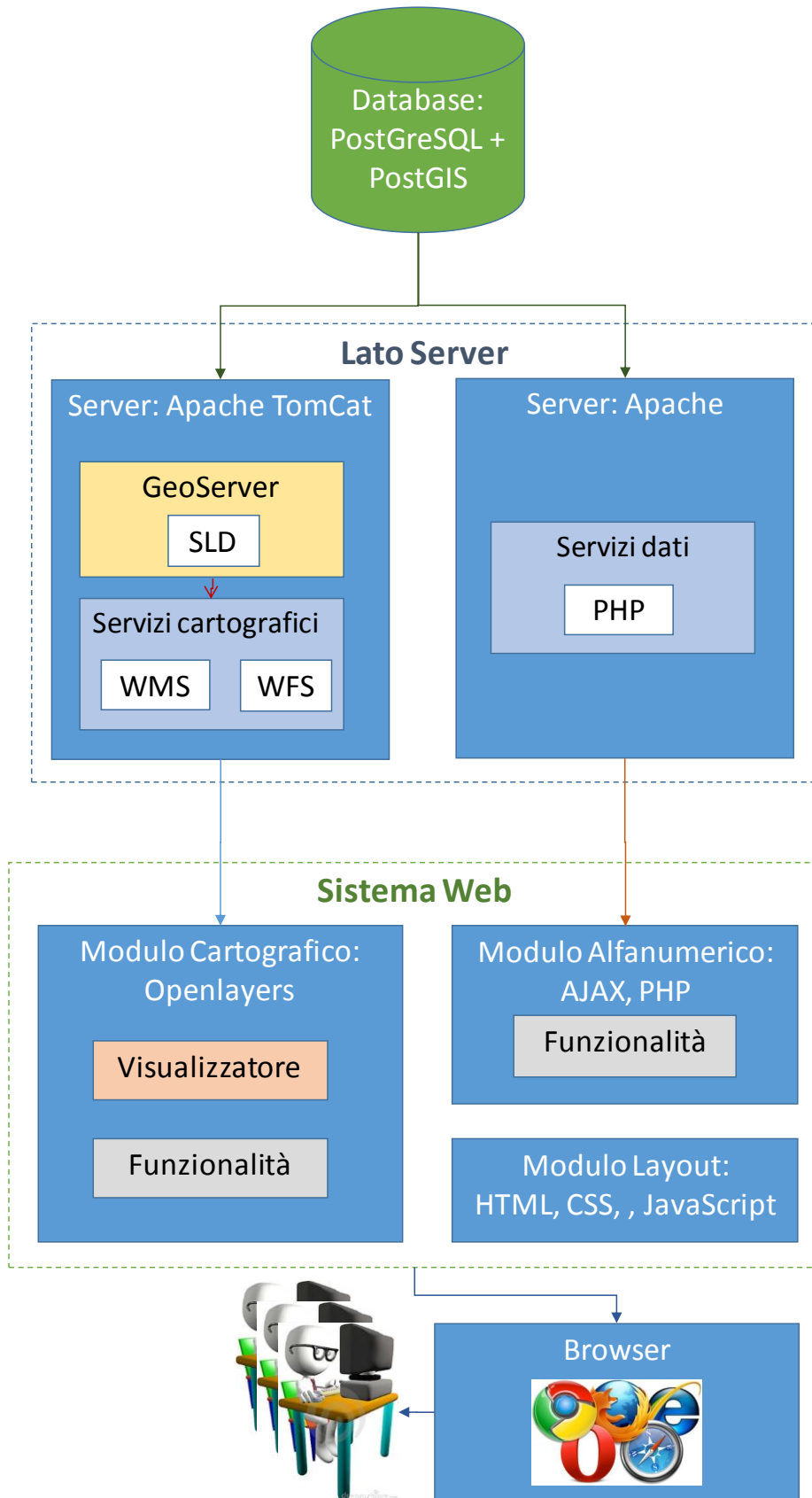


Fig. 19. Architettura logica del sistema

### **8.6.3 Tecnologie utilizzate**

Di seguito vengono brevemente descritte le più rilevanti tecnologie utilizzate per la realizzazione del sistema.

I software di base adoperati sono classificabili come FOSS (Free and Open Source Software).

#### **Database**

---

La scelta del database PostgreSQL è determinata da alcuni fattori che lo rendono completo per i nostri scopi. Possiede una estensione GIS, è ampiamente usato e stabile, supporta funzionalità di networking.

PostgreSQL è un completo database relazionale ad oggetti rilasciato con licenza libera (stile Licenza BSD). Spesso viene abbreviato come "Postgres", sebbene questo sia un nome vecchio dello stesso progetto. PostgreSQL è una reale alternativa sia rispetto ad altri prodotti liberi come MySQL, Firebird SQL e MaxDB che a quelli a codice chiuso come Oracle, Informix o DB2 ed offre caratteristiche uniche nel suo genere che lo pongono per alcuni aspetti all'avanguardia nel settore dei database. La programmabilità di PostgreSQL è il suo principale punto di forza ed il principale vantaggio verso i suoi concorrenti: PostgreSQL rende più semplice costruire applicazioni per il mondo reale, utilizzando i dati prelevati dal database.

In PostgreSQL i programmatori possono implementare la logica in uno dei molti linguaggi supportati:

- Un linguaggio nativo chiamato PL/pgSQL simile al linguaggio procedurale di Oracle PL/SQL, che offre particolari vantaggi nelle procedure che fanno uso intensivo di query.
- Wrapper per i più diffusi linguaggi di scripting come Perl, Python, Tcl, e Ruby che permettono di utilizzare la loro potenza nella manipolazione delle stringhe e nel link ad estese librerie di funzioni esterne.
- Le procedure che richiedono prestazioni maggiori e logiche di programmazione complesse possono utilizzare il C ed il C++.
- Inoltre è disponibile anche un interfacciamento al linguaggio R, ricco di funzioni statistiche e per il calcolo matriciale.

Infine i punti di forza della programmabilità di PostgreSQL sono:

- Incremento delle prestazioni, in quanto la logica viene applicata direttamente dal server di database in una volta, riducendo il passaggio di informazioni tra il client ed il server.

- Incremento dell'affidabilità, dovuto alla centralizzazione del codice di controllo sul server, non dovendo gestire la sincronizzazione della logica tra molteplici client e i dati memorizzati sul server.
- Inserendo livelli di astrazione dei dati direttamente sul server, il codice del client può essere più snello e semplice.

PostGIS è un'estensione spaziale per il database PostgreSQL distribuito con licenza GPL.

PostGIS fornisce la possibilità di gestire i tipi di dati specificati negli standard dell'Open Geospatial Consortium permettendone la interrogazione e l'utilizzo di particolari funzioni tipiche delle elaborazioni geografiche dei dati, tra cui:

- funzionalità di base: creazione/eliminazione di colonne geometriche e attribuzione dei dati ad un determinato sistema di riferimento;
- relazioni fra geometrie: calcolo della distanza, funzioni di overlay (sovrapposizione, intersezione, inclusione, ecc.) tra forme geometriche distinte;
- calcolo sulle geometrie: calcolo dell'area, perimetro, centroide, ecc;
- informazioni sulle geometrie: tipo di geometria, id del sistema di riferimento utilizzato, numero di punti contenuti, ecc;
- modifica delle geometrie: possibilità di manipolare le geometrie effettuando ad esempio operazioni di semplificazione, di traslazione ecc.

Le principali componenti dell'estensione PostGIS sono:

- Un nuovo tipo di dato: GEOMETRY
- Tabelle di supporto: spatial\_ref\_sys e geometry\_columns
- Funzioni SQL di supporto
- Tool esterni (es. pgsq2shp e shp2pgsql)

In genere, i dati di una colonna di database sono associati ad un tipo (es. INTEGER, CHARACTER, BOOLEAN), il supporto spaziale, invece introduce un nuovo tipo di dato: GEOMETRY: questo tipo è un tipo di dato ad oggetti (complesso) che contiene la geometria di un singolo oggetto geografico e eventualmente il sistema di riferimento associato (codice SRID). Il tipo è multiforme ovvero può contenere dati a 2, 3 o 4 dimensioni (x,y,z e il campo M) e vari tipi di geometrie: punti, linee, aree, curve, etc.

"Spatial\_ref\_sys" è una tabella del sistema spaziale: memorizza l'elenco dei sistemi di riferimento supportati. Si basa principalmente sullo standard EPSG (<http://www.epsg.org>) e contiene una certa quantità di sistemi di riferimento, fermo restando che, se un sistema di riferimento non è presente, può essere aggiunto alla tabella, definendo i parametri opportuni. PostgreSQL, infatti, è in grado di utilizzare correttamente i dati geografici con sistemi definiti dall'utente.

“Geometry\_columns” è una tabella che contiene le informazioni di le colonne geometriche, in particolare:

- schema: nome dello schema che contiene la tabella
- table\_name: nome della tabella geometrica
- geometry\_column: nome della colonna di tipo GEOMETRY
- coord\_dimension: numero dimensioni (2,3, o 4)
- srid: codice del sistema di riferimento, può essere -1 = non definito

Le funzioni aggiuntive introdotte dall'estensione PostGIS possono essere divise nei seguenti gruppi:

- Di gestione: es. AddGeometryColumn
- Di costruzione: es. ST\_MakePoint
- Di accesso: es. ST\_Dimension
- Di modifica: es. ST\_Transform
- Di output: es. ST\_AsGML
- Di relazione e misura: es. ST\_Area e ST\_Intersects
- Di processamento: es. ST\_Buffer
- Altro: es. Linear Referencig, ST\_Xmax, etc.

### ***Application Server***

---

Come detto i servizi web risiedono all'interno di un server. Spesso si fa confusione tra server inteso come hardware, ovvero come un computer predisposto per ricevere connessioni, e server inteso come applicazione software che si occupa di gestire le connessioni ad un computer. Quest'ultima si configura come una applicazione in esecuzione su un computer ed in ascolto su un determinato indirizzo ip ed una porta. Tale applicazione è necessaria affinché un servizio web sia utilizzabile in rete. Il sistema sviluppato utilizza la applicazione più diffusa e considerata tra le più solide in questo campo: **Apache**. Il grande successo di diffusione di questo software è l'indicatore più chiaro della qualità e dell'affidabilità di questo prodotto: secondo un'indagine Netcraft del 2005, su 75 milioni di siti web, circa 52 milioni utilizzavano Apache, ad ottobre 2006 il numero è salito a 60 milioni (69,32% del totale).

I servizi cartografici sviluppati risiedono invece all'interno di una applicazione server, **Apache Tomcat**, differente da quella in cui risiedono i servizi alfanumerici. Tale ragione è dovuta a tre fattori:

- è bene non delegare ad un'unica applicazione entrambe le tipologie di servizi per questioni di efficienza di risposta

- è sempre possibile, in virtù del punto precedente, separare anche fisicamente (in 2 macchine diverse) i servizi alfanumerici da quelli geografici, migliorando le prestazioni
- Apache Tomcat permette di utilizzare applicazioni server più complesse, che nel caso specifico sono necessarie (Geoserver)

All'interno di Apache Tomcat è infatti installato **Geoserver**, un software server GIS open source scritto in Java per permettere la pubblicazione e la modifica di dati spaziali. Progettato per interoperare con altri sistemi GIS, è in grado di pubblicare i dati residenti nei maggiori sorgenti di dati spaziali utilizzando standard aperti. Geoserver è il progetto di riferimento per l'implementazione degli standard OGC supportando una vasta gamma di specifiche:

- WMS 1.1.1 con supporto per SLD 1.0.0 valido sia per coverage che per dati vettoriali (oltre a tutta una serie di estensioni specifiche)
- WCS 1.1.1 e WCS 1.0.0
- WFS-Transactional 1.0.0 and 1.1.0
- Eccellente supporto per Google Earth e Google maps (anche con caratteristiche avanzate come regionation, extrusion, timeline, ecc..)
- WMS-Tiling attraverso la sua estensione GeoWebCache
- WPS 1.0
- OGC Filter encoding specification
- OGC Common Query Language specification (CQL)
- GeoRSS simple
- OGC KML.

### ***PHP***

---

Come affermato nei paragrafi precedenti, per implementare i servizi web di connessione al database in maniera sicura e consentire all'utilizzatore dei servizi di passare dei parametri e di ottenere un risultati nei formati web più diffusi (come ad esempio Json), è stato necessario implementare del codice informatico e nel caso specifico si è scelto di utilizzare il linguaggio di programmazione PHP.

La popolarità del linguaggio PHP è in costante crescita grazie alla sua flessibilità: nel Giugno 2001, ha superato il milione di siti che lo utilizzano. Nell'ottobre 2002, più del 45% dei server Apache usavano PHP.

### ***Openlayers***

---

OpenLayers è la libreria più consolidata ed utilizzata per lo sviluppo di applicazioni di Web Mapping avanzate e professionali che non necessitano di installazioni da

parte del client (quindi in grado di funzionare solo ed esclusivamente con un semplice browser). Si tratta di una libreria JavaScript molto evoluta ed allo stato dell'arte, caratterizzata da una nutrita comunità di sviluppatori sparsi in tutto il mondo e dall'adozione in molti progetti opensource che necessitano di visualizzare e "manipolare" una mappa e i suoi dati (marker e relative pop up). Openlayers ha il vantaggio di supportare i protocolli standard OGC più diffusi quali OGC Web Mapping Service (WMS), Web Feature Service (WFS) oltre che fornire oggetti già preconfigurati per accedere ai più comuni dataset pubblici (es. OpenStreetMap).

### **JavaScript**

---

Per la realizzazione dell'interfaccia web del sistema è stato utilizzato il linguaggio JavaScript, che consente lato client di realizzare funzioni complesse al verificarsi di eventi generati dall'azione dell'utente tramite il browser.

### **Servizi di interoperabilità WMS**

---

Per la realizzazione del progetto sono stati realizzati servizi geografici standard WMS (Web Map Service) per ottenere la piena interoperabilità dei dati.

*Lo standard OGC® Web Map Service (WMS) fornisce una semplice interfaccia HTTP per la richiesta di immagini di mappa da uno o più database spaziali distribuiti. La risposta alla richiesta è una o più immagini di mappa (restituita come JPEG, PNG, ecc.) che può essere visualizzata in applicazioni desktop e browser.<sup>10</sup>*

Nel caso del sistema realizzato, i servizi sono ottimizzati per essere consultati tramite browser. I servizi consentono non solo di visualizzare mappe sotto forma di immagini ma anche (e ciò è di fondamentale importanza) di ottenere informazioni sugli elementi geografici rappresentati, sia di carattere generale sia sui singoli elementi. Le operazioni possibili in base allo standard sono:

- GetCapabilities (richiesto): Ottiene i metadati del servizio, che costituiscono una descrizione interpretabile automaticamente (e anche leggibile) del contenuto informativo del WMS e dei parametri di richiesta accettati.
- GetMap (richiesto): Ottiene una immagine di mappa con parametri geospaziali e di dimensione ben definiti.
- GetFeatureInfo (opzionale): Richiede informazioni circa una entità feature particolare mostrata in una mappa.<sup>11</sup>

---

<sup>10</sup> Fonte: Open Source Geospatial Foundation

<sup>11</sup> Fonte: Open Source Geospatial Foundation



Si sottolinea l'importanza di aver utilizzato modalità standard, al fine di garantire un'interoperabilità e facilitare la diffusione di quanto realizzato per utilizzi in ambiti diversi e complementari.

### **SLD**

SLD è una sofisticata specifica OGC per la vestizione di layer vettoriali e raster. È molto flessibile, anche se nella sua generalità risulta di difficile comprensione e non ha sintassi semplificate per i tipi di rendering più comuni.

Si tratta di documenti XML, dove vengono riusate sia le specifiche GML (Geographic Markup Language) che le specifiche Filter.

Se da un lato questa modalità è flessibile e potente, dall'altro è di non facile e rapida realizzazione, in quanto tutte le caratteristiche della simbologia vanno espresse tramite codice.

L'elemento root di un SLD è lo `<StyledLayerDescriptor>` che contiene gli elementi *Layers* e *Styles* che descrivono come deve essere composta la mappa e tematizzata.

*Styles* contiene a sua volta *Rules* e *Filters*, per determinare quale set di features va tematizzato ed in che modo. Attraverso *Rules* è possibile anche definire il range di scala a cui rendere visibili gli elementi tematizzati. Questa regola è stata utilizzata per la visualizzazione di layer puntuale di elementi di interesse, la cui visualizzazione ad una scala troppo piccola risulterebbe confusa, oltre che inutile.

*Rules* contiene i cosiddetti *Symbolizer*, per la tematizzazione dei diversi tipi di elementi (puntuali, lineari, poligonali, testuali o raster).

#### **8.6.4 Realizzazione degli strumenti di interrogazione e dei servizi web cartografici**

Per rispondere ai requisiti funzionali del sistema, sono state effettuate le seguenti attività:

- progettazione dei comportamenti degli utenti
- realizzazione del server per l'accesso dei dati alfa-numeric
- realizzazione del server cartografico
- creazione dei servizi

Per quanto riguarda il primo punto: “**progettazione dei comportamenti degli utenti**”, sono state formulate alcune ipotesi di modalità d'uso dell'applicazione da realizzare, identificando una serie di requisiti e caratteristiche dei servizi web, a partire dalle funzionalità identificate nell'analisi e progettazione del sistema:

- Visualizzazione dati geografici
- Selezione informazioni da visualizzare e legenda
- Visualizzazione dati alfanumerici
- Selezione area geografica
- Selezione di elementi in geografia
- Selezione informazioni alfanumeriche dagli elementi geografici
- Ordinamento delle informazioni alfanumeriche
- Selezione di elementi alfanumerici
- Ricerca di elementi alfanumerici
- Annullamento delle selezioni

Sono stati quindi realizzati pertanto 2 server:

- un server Apache per la pubblicazione di servizi web alfa-numeric
- un server Apache Tomcat per la pubblicazione di servizi cartografici (WMF e WFS)

Entrambi i server hanno ovviamente accesso al database realizzato, in lettura e scrittura, previa autenticazione.

L'accesso ai dati è stato garantito attraverso la implementazione di servizi web.

*Un Web Service (servizio web), secondo la definizione data dal World Wide Web Consortium (W3C), è un sistema software progettato per supportare l'interoperabilità tra diversi elaboratori su di una medesima rete ovvero in un contesto distribuito; tale caratteristica si ottiene associando all'applicazione un'interfaccia software che espone all'esterno il servizio/i associato/i e utilizzando la quale altri sistemi possono interagire con l'applicazione stessa attivando le operazioni descritte nell'interfaccia (servizi o richieste di procedure remote) tramite appositi "messaggi" di richiesta: tali messaggi di richiesta sono inclusi in una "busta" (la più famosa è SOAP), formattati secondo lo standard XML, incapsulati e trasportati tramite i protocolli del Web (solitamente HTTP), da cui appunto il nome web service<sup>12</sup>.*

Un servizio web sostanzialmente si pone tra i dati e le applicazioni permettendo un accesso sicuro e opportunamente direzionato alle informazioni.

Per implementare i servizi web è stato pertanto necessario:

- creare ed impostare un server Apache
- scrivere le query di accesso al database

---

<sup>12</sup> Fonte: wikipedia

- scrivere il codice PHP necessario per l'interrogazione dei dati e per il rilascio dei risultati.

I servizi sono stati realizzati attraverso codice PHP, in particolare utilizzando l'estensione "php\_pdo\_pgsql" che funge da driver sicuro per l'accesso a database PostgreSQL utilizzando la tecnologia PDO.

Si sottolinea che esistono diverse modalità di accesso ai database attraverso codice PHP, tuttavia la modalità PDO, acronimo di PHP Data Objects, è ad oggi tra le più sicure e costituisce inoltre un'interfaccia coerente ed uniforme per l'accesso e l'interazione ai vari tipi di database. Essa ha consentito di scrivere codice PHP cross-database che, in caso di necessità, potrà rendere semplice il passaggio tra le diverse tipologie di database (ad esempio MySQL, SQLite, MsSQL, etc etc).

Il codice, in generale, prevede le seguenti componenti:

- lettura dei parametri in input
- connessione al database;
- creazione della stringa di query;
- esecuzione della query;
- cattura del risultato della query;
- formattazione e stampa dell'output;

È stato inoltre implementato un server Apache Tomcat per l'accesso ai dati geografici (all'interno della stessa macchina del server alfanumerico ma in esecuzione su un'altra porta).

L'applicazione deputata alla creazione dei servizi cartografici è Geoserver. I passaggi necessari alla creazione dei servizi mappa attraverso l'interfaccia di Geoserver sono i seguenti:

- creazione di un workspace
- creazione di una connessione ad un database
- creazione di un layer ed impostazione dei parametri generali
- creazione ed associazione dei tematismi ai layers

Il workspace è semplicemente un contenitore logico dei layers.

Per connettersi al database PostgreSQL è sufficiente inserire i parametri di connessione:

- indirizzo ip,
- porta,
- user name,
- password.

Per la creazione di un layer è necessario, dapprima individuare il dato all'interno del database e successivamente impostare il sistema di riferimento. Solo dopo aver creato uno stile (o tematismo) sarà possibile aggiungerlo al layer.

Di seguito si mostra una schermata relativa alle impostazioni del layer.

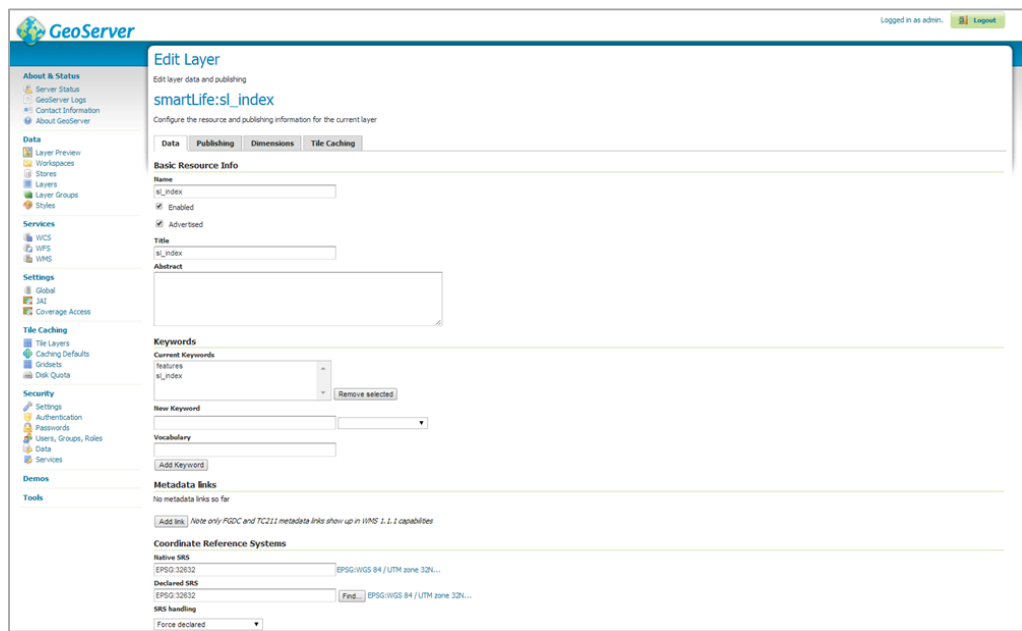


Fig. 20. Creazione di un layer attraverso Geoserver

Affinchè ciascun dato geografico diventasse una mappa e quindi potesse essere facilmente interpretata una determinata informazione da parte dell'utente, è stato necessario per ognuno creare un tematismo. Un tematismo non è altro che una maniera grafica per rappresentare una informazione contenuta in un dato. Per fare ciò, in Geoserver, viene utilizzato un particolare linguaggio xml denominato SLD (Styled Layer Descriptor).

Attraverso tale linguaggio è possibile associare una simbologia agli elementi geografici (punti, linee e poligoni) definendone, forme, colori ed etichette anche in funzione dei valori che un determinato attributo del dato assume.

Attraverso un'opportuna scrittura del codice all'interno del file SLD è stato possibile quindi, tematizzare differentemente, a seconda del codice identificativo, i vari elementi contenuti nelle tabelle geografiche GEO\_A, GEO\_L e GEO\_P.

Sono state create tutte le simbologie necessarie e i file SLD necessari per i diversi servizi.

Di seguito è mostrata una schermata relativa alle impostazioni di stile.

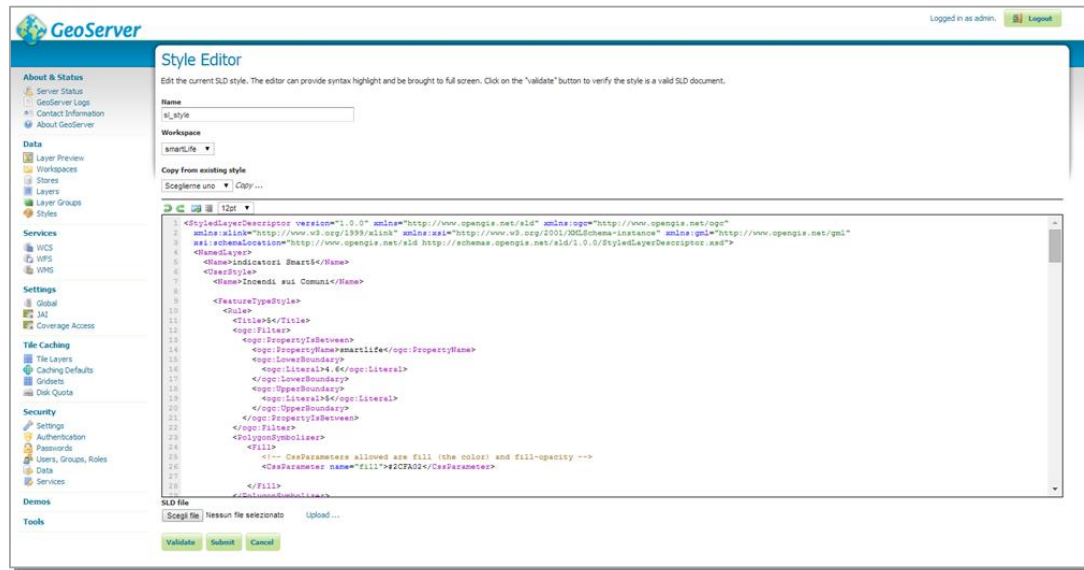


Fig. 21. Creazione di un tematismo attraverso Geoserver

### 8.6.5 Realizzazione dell'interfaccia web

L'interfaccia è stata progettata e sviluppata per rispondere alle esigenze di usabilità, al fine di minimizzare lo sforzo richiesto all'utente per imparare, utilizzare, preparare gli input ed interpretare gli output del sistema.

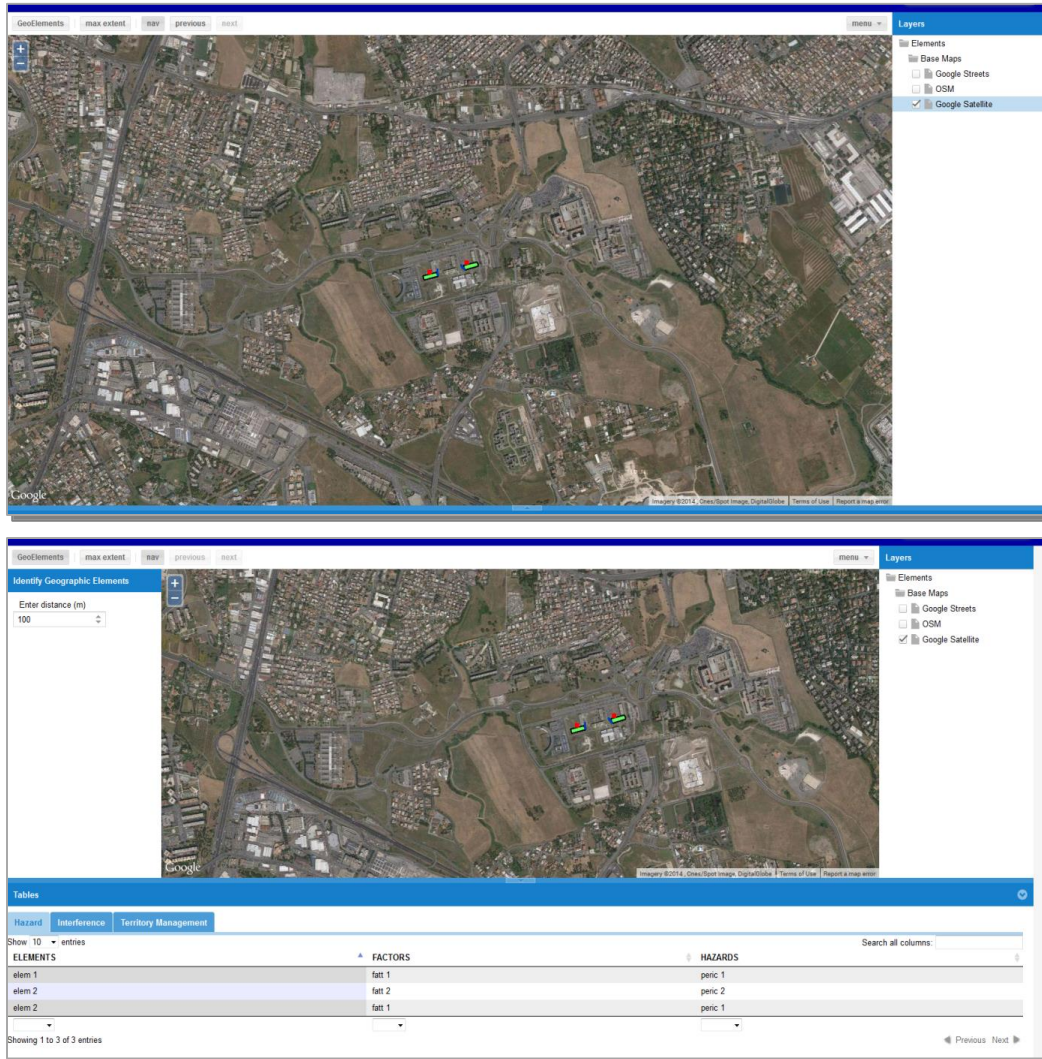


Fig. 22. Disegni dell'interfaccia web del sistema

L'elemento principale nell'interfaccia è la mappa, navigabile attraverso strumenti di zoom, pan ecc, conformemente ad altri strumenti presenti su web e di larga diffusione. Analogamente tutti i componenti presenti nell'interfaccia sono analoghi a quanto ad oggi reso disponibile dalla gran parte dei siti web strutturati per offrire la possibilità di eseguire operazioni molteplici e a volte complesse.

Tutti i pannelli dell'interfaccia sono dotati di un nome chiaramente visibile e attraverso cui l'utente può immediatamente comprendere la finalità del contenuto, sia esso di presentazione ovvero di consentire operazioni. Molti pannelli possono essere "chiusi" al fine di migliorare la visualizzazione degli elementi in mappa o di altri pannelli.

Messaggi esplicativi compaiono ogniqualvolta sia necessario comunicare all'utente l'impossibilità di effettuare un'operazione, identificandone la causa.

Per ciascuna operazione è stato minimizzato il numero di “clic” da effettuare per raggiungere il risultato.

La presentazione dei dati alfanumerici è stata resa compatta e rapida, al fine di poter gestire anche grandi quantità di dati in maniera efficiente ed efficace.

Si è dedicata attenzione al velocizzare la velocità con cui i contenuti, alfanumerici e geografici, sono presentati all'utente.

Per la realizzazione dell'interfaccia web sono stati utilizzati gli strumenti HTML, CSS, PHP e JavaScript, integrato quest'ultimo con librerie open-source.

## 9 CONCLUSIONI

La prevenzione strutturale dei danni conseguenti eventi calamitosi non può che passare attraverso la gestione ordinaria del territorio messa in atto dai soggetti e dagli enti che hanno una reale capacità di regolarne le modalità di trasformazione e che sono quindi in grado di determinare, ad un tempo futuro, se e come i due termini del rischio (pericolosità e vulnerabilità) si ritroveranno accoppiati o meno.

Da questo assunto si è mosso il presente lavoro di dottorato, con il fine di sviluppare metodi e strumenti, di supporto ai soggetti il cui operato contribuisce a modificare le condizioni di rischio di un territorio.

In primo luogo sono state analizzate, elaborate e portate a sintesi organica una serie di concettualizzazioni riguardanti i metodi di stima del rischio secondo un approccio sistemico di analisi del territorio.

È stato quindi elaborato, congiuntamente all'attività di dottorato dell'ing. Maurizio Ambrosanio, con cui il presente lavoro è coordinato, un modello concettuale dello stato di fatto, che potremmo definire un *framework* di riferimento, sul quale si sono basate le attività successive, così esprimibile:

- un pericolo è determinato dalla combinazione di diversi fattori causali (naturali o antropici);
- il pericolo agisce su date parti del territorio modificandone la configurazione;
- il territorio, data la sua natura sistemica, può alterare a sua volta la configurazione del pericolo:
  - amplificandone la magnitudo
  - trasmettendo, per il tramite delle relazioni fisiche e funzionali intercorrenti tra le componenti direttamente vulnerate dal pericolo ed il resto del sistema, il pericolo stesso eventualmente coinvolgendo e modificando lo stato di ulteriori componenti del sistema
- la modificata configurazione delle diverse componenti del sistema può agire come fattore causale per la generazione di ulteriori pericoli;
- un pericolo globalmente inteso può o può non avere associato a sé un processo di controllo e quindi un soggetto normativamente identificato come responsabile della sua prevenzione;
- in generale, tuttavia, è ipotizzabile che alcuni dei fattori (causali, amplificativi o di interferenza) del pericolo vengano governati (pianificati, gestiti, monitorati) da una o più funzioni amministrative, a loro volta gestite da uno o più soggetti



identificati normativamente, secondo finalità non direttamente riferibili agli scopi di prevenzione del pericolo;

- in ogni caso è identificabile un processo di governo del territorio mediante il quale assicurare (anche parzialmente) che non vengano collocati elementi vulnerabili all'interno di areali di pericolosità.

Assumendo a riferimento tale modello, pur riconoscendone i limiti di semplificazione, è stato dunque possibile enumerare gli elementi su cui concentrare l'attenzione per poter giungere alla formulazione di strumenti tecnici utilmente impiegabili per sostenere processi di governo del territorio orientati al perseguimento della sicurezza territoriale.

Essi possono essere così elencati:

- la formalizzazione del concetto di sicurezza territoriale in un approccio di tipo sistemico;
- la descrizione delle condizioni di pericolosità, vulnerabilità e rischio agenti all'interno del territorio, secondo un approccio di tipo sistemico;
- la possibilità di prevedere le condizioni di rischio agenti all'interno del territorio ad un tempo futuro di riferimento;
- la descrizione dei processi di governo del territorio, sotto il profilo normativo, processuale ed operativo;
- la identificazione delle esigenze di supporto tecnico ai processi di governo del territorio;
- la identificazione del sistema della conoscenza utilizzabile per la implementazione degli strumenti di supporto.

Nel presente lavoro tali elementi sono stati indagati concentrando l'attenzione sui processi decisionali di gestione del territorio.

Dall'analisi condotta, sono state identificate e analizzate le seguenti criticità:

- l'approccio canonico alla stima del rischio analizza gli eventi calamitosi in modo disgiunto, non valutando le possibili interconnessioni esistenti tra gli elementi del sistema territoriale
- le analisi di rischio sono per natura incerte, dovendo esse analizzare e prevedere il comportamento di variabili affette da diverse tipologie di incertezza

Per risolvere tali criticità, al fine di raggiungere gli obiettivi di prefissati, nel presente lavoro si è proceduto nella direzione di una ridefinizione di una serie di concetti di

interesse per le attività di stima del rischio in una prospettiva di sistema. È stato quindi definito e formalizzato un approccio sistemico alla stima del rischio, in grado di gestire e superare le criticità evidenziate.

Integrando quanto realizzato nel lavoro di dottorato svolto dall'ing. Maurizio Ambrosanio in riferimento ai processi decisionali di gestione del territorio, si è giunti ad una proposta metodologica e operativa unitaria e completa.

Muovendo dall'analisi del singolo pericolo all'analisi del quadro territoriale complessivo sui cui il pericolo agisce, si è proposto un approccio in cui i tradizionali concetti di pericolosità, vulnerabilità e di intervento vengono scomposti in funzioni interrelate, definite come Funzione di Pericolosità, Funzione di Vulnerabilità, Funzione di Regolazione.

Con alla base tale proposta metodologica, è stato progettato e sviluppato uno sperimentale ma consistente sistema accessibile via web, finalizzato a supportare tutti i soggetti le cui attività hanno un effetto nel modificare le condizioni di sicurezza del territorio, nella prospettiva di una minimizzazione efficace ed efficiente delle condizioni di rischio.

Il sistema si configura come un *Decision Support System* in grado di gestire informazioni anche di tipo geografico, fondamentali per una reale implementazione dei metodi proposti, dotato quindi degli strumenti tipici di un sistema GIS. L'obiettivo è stato voler fornire all'utente quadri informativi analitici o sintetici che potessero da un lato indirizzare le diverse attività di prevenzione dei danni, dall'altro armonizzare le linee di attività di soggetti differenti operanti con finalità eterogenee e spesso del tutto avulse da una effettiva valutazione sull'evoluzione del sistema territoriale e la modifica delle condizioni di rischio.

Quanto realizzato ha voluto porre le basi per una sistematizzazione concettuale e una implementazione di relativi strumenti tecnici operativi, difficile ma quanto mai necessaria al fine di pervenire ad una gestione efficace e coordinata del territorio nella prospettiva della prevenzione dei danni generati da eventi calamitosi.

## 10 BIBLIOGRAFIA

- Allen, J. (1995). *Natural Language Understanding - second edition*. The Benjamins/Cummins Publishing Company.
- Bertalanffy, L. V. (1967). *Teoria Generale dei Sistemi*. Milano: Mondadori.
- Beven, K. (2009). *Environmental Modelling: An Uncertain Future*. London, England: Routledge.
- Brunet, R. (2001). Models in geography? A sense to research. *CyberGeo* 204.
- Burgman, M. A. (2005). *Risks and Decisions for Conservation and Environmental Management*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Carrara, A. (1984). Landslide hazard mapping: aims and methods. *Association Francaise de Géographie Physique. Colloque de CAEN*, (p. 141 – 151). CAEN.
- Carrara, A., Agnesi, V., Macaluso, T., Monteleone, S., Pipitone, G., Reali, C., & Sorriso-Valvo, M. (1985). Modelli matematici per la valutazione della pericolosità connessa con i fenomeni di instabilità dei versanti. *Geologia Applicata e Idrogeologia, Vol 10/2*, 63-91.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., & Reichenbach, P. (2001). GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms. Vol 16*, 427 – 445.
- Cashdan, E. (1983). Territoriality among Human Foragers: Ecological Models and an Application to Four Bushman Groups. *Current Anthropology*, 24 (1), 47.
- Chalmers, A. (1999). *What is this thing called science?* Brisbane, Australia: University of Queensland Press.
- Chorley, R. J., & Haggett, P. (1967). *Models in geography*. Londra: Methuen.
- Clifton, A., & Ericson, I. (2005). *Hazard Analysis Techniques for System Safety*. John Wiley & Sons, Inc.
- Cullen, A. C., & Frey, H. C. (1999). *Probabilistic techniques in exposure assessment: A handbook for dealing with uncertainty in models and inputs*. New York, USA: Plenum Press.
- Cutter, S., & Finch, C. (2007). Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105, (p. 2301 - 2306).
- DNPC. (2007). *Manuale operativo per la predisposizione di un piano comunale o intercomunale di Protezione Civile*. Dipartimento Nazionale Protezione Civile.
- Forrester, J. (1971). *Principles of Systems*. Norwalk, CT: Productivity Press.

- Gillund, F., Kjolberg, K. A., von Krauss, M. K., & Myhr, A. I. (2008). Do uncertainty analyses reveal uncertainties? using the introduction of dna vaccines to aquaculture as a case. *Science of the Total Environment*, 407, 185–196.
- Goodchild, M., Parks, B., & Steyaert, L. (1994). *Environmental Modeling with GIS*. Oxford : Oxford University Press.
- Hall, A., & Fagen, R. (1956). Definition of system. In *General Systems Yearbook 1* (p. 18-28).
- Hamer, K. C., & Hill, J. K. (2000). Scale-dependent effects of habitat disturbance on species richness in tropical forests. *Conservation Biology* 14, 435–1440.
- Ioannilli, M. (2011). *Lezioni di processi e metodi per la gestione della sicurezza territoriale*.
- Ioannilli, M. (2012). Il processo decisionale pubblico ed il bisogno di valutazione. In M. d. Mare, *I cambiamenti climatici tra mitigazione e adattamento. Politiche e scenari per lo sviluppo sostenibile dei territori delle regioni* (p. 21 - 34). Roma: Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.
- Ioannilli, M., Ambrosanio, M., & Paregiani, A. (2008). *Piani di protezione civile comunale: l'esperienza della Provincia di Roma*. Roma: Provincia di Roma.
- Kwan, S., Olken, F., & Rotem, D. (1997). Uncertain, incomplete, and inconsistent data in scientific and statistical databases. In A. Motro, & P.Smets, *Uncertainty management in information systems: from needs to solutions* (p. 127–153 ). Boston, Massachusetts: Kluwer.
- Kyburg, H. E., Thalos, M., & ., e. (2002). *Probability is the very guide of life.* . Chicago, USA: Open Court.
- Maione, B. (2004). *Riflessioni sul concetto di sistema*. Bari: Dipartimento di Elettrotecnica ed Elettronica, Politecnico di Bari.
- McCann, R. K., Marcot, B. G., & Ellis, R. (2006). Bayesian belief networks: applications in ecology and natural resource management. *Canadian Journal of Forest Research*, 3053-3062.
- Pierce, M. (1998). *Computer based models in Integrated Environmental Assessment*. Bruxelles: European Environmental Agency.
- Raffestin, C. (1981). *Per una geografia del potere*. Milano: Uniopli.
- Raffestin, C. (2007). Il concetto di territorialità. In A. P. M. Bertoncin, *Territorialità* (p. 21-31). Milano: Franco Angeli.
- Ratzel, F. (1914). *Geografia dell'Uomo (Antropogeografia): principi d'applicazione della scienza geografica alla storia*. Milano: Fratelli Bocca.
- Regan, H. M., Colyvan, M., & and Burgman, M. A. (2002). A taxonomy and treatment of uncertainty for ecology and conservation biology. *Ecological Applications* 12, 618–628.

- Regione Emilia Romagna. (2002). *Carta della pericolosità relativa da frana, ai fini di protezione civile*. Regione Emilia Romagna.
- Sack, R. (1986). *Human Territoriality: Its Theory and History*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Stafford Beer, A. (1959). *Cybernetics and Management*. English Universities Press.
- Taafe, E. J. (1970). *Geography*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Turco, A. (1988). *Verso una teoria geografica della complessità*. Milano: Edizioni Unicopli.
- Van Belle, G. (2008). *Statistical Rules of Thumb*. Wiley.
- Varnes, D. (1978). Slope movement types and processes. In R. a. Schuster, *Landslides: Analysis and control* (p. 11–33). Washington, D.C.: National Research Council, Transportation Research Board, National Academy Press, Special Report 176.
- Walker, W., Harremo, P., Rotmans, J., Van Der Sluijs, J., Van Asselt, M., Janssen, P., & Kraye Von Krauss, M. (2003). Defining Uncertainty A Conceptual Basis for Uncertainty Management in Model-Based Decision Support. *Integrated Assessment*, 4, 5–17.
- Wilches-Chaux, G. (2007). *Conceptos básicos sobre gestión del riesgo y seguridad territorial*.

## **APPENDICE – ATTIVITÀ SVOLTE NEL PERIODO DI RIFERIMENTO**

---

Si riporta di seguito l'elenco delle attività svolte nel periodo intercorrente tra l'inizio del dottorato, novembre 2008, e luglio 2014.

Le attività sono così ripartite:

- Attività di ricerca
- Collaborazione alla realizzazione di tesi di Master e di Laurea
- Attività didattica
- Formazione
- Attività professionale
- Pubblicazioni e rapporti tecnici

### **Attività di ricerca**

---

#### **Ente**

In-TIME – Spin-off dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

#### **Descrizione**

Collaborazione ad attività di ricerca industriale nell'ambito del progetto cofinanziato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca "Space Advanced Project Excellence in Research and Enterprise (SAPERE)" – Avviso per lo sviluppo e potenziamento di Cluster Tecnologici Nazionali, Tema Aerospazio, sulla tematica: "Modellazione dei processi decisionali del settore *risk and emergency*, individuazione dei fabbisogni di informazioni geospaziali, identificazione degli obiettivi di nuovi servizi di osservazione della terra con frequenza di passaggio più breve"

#### **Periodo**

Giugno 2014 → oggi

---

#### **Ente**

CNR - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

#### **Descrizione**

Assegno di ricerca sul tema "Progettazione, sviluppo e sperimentazione di modelli e strumenti software di elaborazione di dati geografici, finalizzati alla realizzazione di supporti informativi relativi all'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) in rapporto ai diversi aspetti di caratterizzazione dei contesti territoriali" - Responsabile Scientifico Dott. G.P. Cavinato

#### **Periodo**

Aprile 2014 → oggi

---

**Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

**Descrizione**

Collaborazione in attività di ricerca e sperimentazione applicativa nel progetto svolto dall'Università di Roma Tor Vergata per la Regione Lazio per la realizzazione di studi per la Condizione Limite dell'Emergenza ai sensi dell'OPCM n.4007/2012 per i Comuni di Agosta, Amatrice, Arcinazzo Romano, Atina, Bellegra, Borgorose, Broccostella, Canterano, Cerreto Laziale, Gorga, Mandela, Marano Equo, Picinisco, Poli, Sant'angelo Romano e Settefrati - Responsabile Scientifico Prof.ssa Maria Ioannilli

**Periodo**

settembre 2013 → gennaio 2014

---

**Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

**Descrizione**

Collaborazione in attività di ricerca nel progetto svolto dall'Università di Roma Tor Vergata per la Regione Lazio per la redazione delle Linee Guida per la predisposizione dei Piani di Emergenza Comunali - Responsabile Scientifico Prof.ssa Maria Ioannilli

**Periodo**

gennaio → maggio 2013

---

**Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

**Descrizione**

Collaborazione in attività di ricerca e sperimentazione applicativa per la realizzazione di un indice di affidabilità degli studi di Microzonazione Sismica in base alla tipologia e alla distribuzione delle indagini effettuate - Responsabile Scientifico Prof.ssa Maria Ioannilli

**Periodo**

dicembre 2012 → giugno 2013

---

**Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

**Descrizione**

Assegno di ricerca "Modellazione dei rischi territoriali finalizzata allo sviluppo di un sistema informativo di protezione civile" (settore disciplinare ICAR/20) - Responsabile Scientifico Prof.ssa Maria Ioannilli

**Periodo**

Dal 01/01/2012 al 31/12/2012

---

---

**Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

**Descrizione**

Assegno di ricerca "Modellazione dei rischi territoriali finalizzata allo sviluppo di un sistema informativo di protezione civile" (settore disciplinare ICAR/20) - Responsabile Scientifico Prof.ssa Maria Ioannilli

**Periodo**

Dal 15/03/2011 al 15/09/2011

---

**Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

**Descrizione**

Attività di ricerca e sperimentazione applicativa nel progetto svolto per la Provincia di Roma finalizzato alla pianificazione d'emergenza di protezione civile di livello comunale che ha portato alla redazione di 18 Piani di Protezione Civile a livello comunale e sovracomunale - Responsabile Scientifico Prof.ssa Maria Ioannilli

**Periodo**

Dal 16/06/2008 al 03/06/2009

---



## **Collaborazione alla realizzazione di tesi di Master e di Laurea**

---

### **Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

### **Descrizione**

Collaborazione nella realizzazione della tesi di Master di II livello Geoinformazione e Sistemi di Informazione Geografica a supporto dei processi di Gestione Sostenibile del Territorio e della Sicurezza Territoriale "Linee guida per la rappresentazione degli elementi vulnerabili associati al trasporto di merci pericolose" (S. Lia)

### **Periodo**

Novembre 2013

---

### **Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

### **Descrizione**

Collaborazione nella realizzazione della tesi di Master di II livello Geoinformazione e Sistemi di Informazione Geografica a supporto dei processi di Gestione Sostenibile del Territorio e della Sicurezza Territoriale "Realizzazione piattaforma Web-GIS per la restituzione grafica di indicatori di pericolosità (incendi, frane, terremoti) elaborati su tutto il territorio italiano" (V. Saladini)

### **Periodo**

novembre 2013

---

### **Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

### **Descrizione**

Collaborazione nella realizzazione della tesi di Master di II livello Geoinformazione e Sistemi di Informazione Geografica a supporto dei processi di Gestione Sostenibile del Territorio e della Sicurezza Territoriale "L'uso degli open data nella costruzione di una banca dati geografica per lo sviluppo di un applicativo GIS finalizzato al monitoraggio e al controllo del territorio in materia di prevenzione incendi" (A. Carbone, B. Cristini, D. Pozzi)

### **Periodo**

luglio 2013

---

### **Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

### **Descrizione**

Collaborazione nella realizzazione della tesi di Master di II livello Geoinformazione e Sistemi di Informazione Geografica a supporto dei processi di Gestione Sostenibile del Territorio e

---

della Sicurezza Territoriale "Mappatura dei tratti di linea ferroviaria soggetti a rischio idrogeologico" (M. Giangreco)

**Periodo**

luglio 2013

---

**Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

**Descrizione**

Collaborazione nella realizzazione della tesi di Master di II livello Geoinformazione e Sistemi di Informazione Geografica a supporto dei processi di Gestione Sostenibile del Territorio e della Sicurezza Territoriale "Applicazione del modello idrologico SWAT per la valutazione del bilancio idrologico a scala di bacino Rio Mannu di San Sperate (Sardegna meridionale)" (P.A. Marras)

**Periodo**

luglio 2013

---

**Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

**Descrizione**

Collaborazione nella realizzazione della tesi di Master di II livello Geoinformazione e Sistemi di Informazione Geografica a supporto dei processi di Gestione Sostenibile del Territorio e della Sicurezza Territoriale "Contributo allo sviluppo di un sistema di condivisione web di dati e metadati ambientali acquisiti nell'ambito del Progetto SHARE EvK2-CNR" (D. Tocco)

**Periodo**

luglio 2013

---

**Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

**Descrizione**

Collaborazione nella realizzazione della tesi di Master di II livello Geoinformazione e Sistemi di Informazione Geografica a supporto dei processi di Gestione Sostenibile del Territorio e della Sicurezza Territoriale "Elaborazione di dati geografici per la implementazione di un sistema di diffusione di informazioni di supporto alla pianificazione ed alla gestione dell'ambiente antropizzato" (S. Tocci)

**Periodo**

giugno 2012

---

---

**Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

**Descrizione**

Collaborazione nella realizzazione della tesi di Master di II livello Geoinformazione e Sistemi di Informazione Geografica a supporto dei processi di Gestione Sostenibile del Territorio e della Sicurezza Territoriale "Definizione di criteri e di metodi quantitativi per la verifica di qualità dei dati censuari cartografici implementati dai Comuni" (S. Sorrentino – V. Crozza)

**Periodo**

giugno 2012

---

**Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

**Descrizione**

Collaborazione nella realizzazione della tesi di Master di II livello Geoinformazione e Sistemi di Informazione Geografica a supporto dei processi di Gestione Sostenibile del Territorio e della Sicurezza Territoriale "Realizzazione di un WebGIS per la valorizzazione del territorio attraverso l'organizzazione dell'informazione" (M. Ruisi)

**Periodo**

maggio 2012

---

**Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

**Descrizione**

Collaborazione nella realizzazione della tesi di Master di II livello Geoinformazione e Sistemi di Informazione Geografica a supporto dei processi di Gestione Sostenibile del Territorio e della Sicurezza Territoriale "Modello comparativo carta del rischio dei beni culturali: Italia-Ecuador" (E. Rueda Guerrero)

**Periodo**

febbraio 2012

---

## **Attività didattica**

---

### **Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

### **Descrizione**

Assistenza didattica per attività di laboratorio relativa al corso Processi e Metodi per la Gestione della Sicurezza Territoriale - Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

### **Periodo**

a.a. 2013/2014

---

### **Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

### **Descrizione**

Tutoraggio ed attività integrative alla didattica: cicli di sostegno, seminari ed esercitazioni, totali 70 ore, nell'ambito del Master di II livello Geoinformazione e Sistemi di Informazione Geografica a supporto dei processi di Gestione Sostenibile del Territorio e della Sicurezza Territoriale

### **Periodo**

dicembre 2013 – gennaio 2014

---

### **Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

### **Descrizione**

Master in "Geoinformazione e Sistemi di Informazione Geografica a supporto dei processi di Gestione Sostenibile del Territorio e della Sicurezza Territoriale"

Erogazione di docenze per n. 24 ore su tematiche inerenti la sicurezza del territorio

### **Periodo**

Dal 8/11/13 al 9/11/13

---

### **Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

### **Descrizione**

Assistenza didattica per attività di laboratorio relativa al corso Processi e Metodi per la Gestione della Sicurezza Territoriale - Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

### **Periodo**

a.a. 2012/2013

---

---

**Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

**Descrizione**

Master in "Geoinformazione e Sistemi di Informazione Geografica a supporto dei processi di Gestione Sostenibile del Territorio e della Sicurezza Territoriale"

Erogazione di docenze per n. 80 ore su tematiche inerenti la sicurezza del territorio

**Periodo**

Da Marzo a Luglio 2012

---

**Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

**Descrizione**

Assistenza didattica per attività di laboratorio relativa al corso Processi e Metodi per la Gestione della Sicurezza Territoriale - Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

**Periodo**

a.a. 2011/2012

---

**Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

**Descrizione**

Assistenza didattica per attività di laboratorio relativa al corso Processi e Metodi per la Gestione della Sicurezza Territoriale - Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

**Periodo**

a.a. 2010/2011

---

**Ente**

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

**Descrizione**

Assistenza didattica per attività di laboratorio relativa al corso Processi e Metodi per la Gestione della Sicurezza Territoriale - Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

**Periodo**

a.a. 2009/2010

---

## Formazione

---

Data Dal 19 al 21 Maggio 2014  
Centro di formazione ESRI Italia  
Nome del corso di formazione Introduction to Geoprocessing Script using Python

---

Data Dal 8 al 9 Maggio 2014  
Centro di formazione ESRI Italia  
Nome del corso di formazione ArcGIS for Server: Sharing GIS Content on the WEB

---

Data Dal 14 al 21 Febbraio 2012  
Centro di formazione Geosystems S.r.l.  
Nome del corso di formazione Corso Strumenti GIS in ambito web: PostgreSQL e PostGIS, Geoserver, librerie Openlayers

---

Data 21-22/12/2009  
Centro di formazione ESRI Italia  
Nome del corso di formazione Geodatabase Design Concepts

---

Data 12-13/10/2009  
Centro di formazione ESRI Italia  
Nome del corso di formazione Introduction to ArcGIS Server

---

Data 24/07/2008  
Centro di formazione ESRI Italia  
Nome del corso di formazione Lavorare con ArcGIS 3D Analyst

---

Data 04/06/2008  
Centro di formazione BICLazio (Business Innovation Centre)  
Nome del corso di formazione Europrogettazione: conoscenza della legislazione dell'UE e dei diversi programmi tematici di finanziamento

---

## **Attività professionale**

---

### **Ente**

In-TIME – Spin-off dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

### **Descrizione**

Attività di ricerca e sviluppo, tecnica e commerciale. Project manager.

Si citano i principali progetti:

#### **dicembre 2013 → in corso**

*Per Ministero della Difesa – Aeronautica Militare*

Progettazione e realizzazione di modelli complessi di elaborazione di dati geografici e di un sistema informativo a base geografica di supporto alle attività di apposizione e gestione delle limitazioni aeronautiche sui territori contermini gli aeroporti militari

#### **settembre 2013 → ottobre 2013**

*Per Studio Maggi – ACEA Distribuzione*

Progettazione e sviluppo di strumenti informatici per l'analisi e l'editing di dati geografici relativi al c.d. "ultimo miglio" della rete elettrica in ambito urbano

#### **giugno 2013 → maggio 2014**

*Per Regione Lazio – Filas SpA, progetto cofinanziato nell'ambito dell'avviso "Open Data PMI"*

Costruzione di indicatori geografici sulla qualità della vita per il territorio italiano, progettazione e realizzazione del sistema webGIS SmartLife5

#### **dicembre 2012 → in corso**

*Comune di Subiaco (RM):* redazione del Piano di emergenza comunale di protezione civile

*Comune di Frascati (RM):* redazione del Piano di emergenza comunale di protezione civile

*Comune di Albano Laziale (RM):* redazione del Piano di emergenza comunale di protezione civile

*Comune di Villa Santa Lucia (FR):* redazione del Piano di emergenza comunale di protezione civile

#### **giugno 2012 → luglio 2013**

*Per CNR-IGAG – Dipartimento di Protezione Civile*

Attività tecnico scientifica e management del progetto di supporto alla Commissione Tecnica per gli studi di Microzonazione Sismica presso il Dipartimento di Protezione Civile.

**gennaio 2012 → dicembre 2012**

*ACQUASENSE - Progetto di ricerca cofinanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico nell'ambito dell'avviso Industria 2015*

Progettazione del sistema a base geografica di monitoraggio capillare della qualità delle acque mediante sensori aspecifici

**settembre 2011 → in corso**

*Per Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"*

Progettazione, organizzazione e coordinamento del Master di II livello in Geoinformazione e Sistemi di Informazione Geografica a supporto dei processi di Gestione Sostenibile del Territorio e della Sicurezza Territoriale (pianificazione didattica, gestione attività di stage e tesi, partnerships, promozione)

**Periodo**

maggio 2009 → oggi



## **Pubblicazioni**

---

### **Book chapters**

- Ambrosanio M., Ioannilli M., Paregiani A. (2009). A new approach to risk assessment from the Civil Protection perspective, in *Advances in Models and Methods for Planning*, Francesco Scarlatti, Giovanni Rabino (Eds.), Pitagora Editrice, Bologna, 201-210, ISBN 88-371-1780-9
- Ambrosanio M., Celani G., Ioannilli M., Paregiani A. (2009). L'Approccio "Sistemico" alla Valutazione del Rischio nella prospettiva di Protezione Civile, in *Sistemi Informativi Territoriali: varie applicazioni per la gestione ed il governo del territorio*, Salvatore Sessa (Ed.), ARACNE, Roma, ISBN 978-88-548-2689-2

### **Conference Papers**

- M. Ioannilli, A. Paregiani: Automated Unsupervised Geomorphometric Classification of Earth Surface for Landslide Susceptibility Assessment, in: *Computational science and its applications - ICCSA 2008 PT 1 Proceedings*; doi: 10.1007/978-3-540-69839-5\_21; città: Perugia ITALY; pagg.: 268--283; Editore: SPRINGER-VERLAG BERLIN; url: [http://dx.medra.org/10.1007/978-3-540-69839-5\\_21](http://dx.medra.org/10.1007/978-3-540-69839-5_21); volume: 5072
- M. Ioannilli, A. Paregiani et al: Progettazione e implementazione di un sistema informativo di supporto alle attività di gestione delle emergenze a seguito di eventi di tipo non prevedibili, in: *Atti 12a Conferenza Nazionale ASITA, L'Aquila 21 - 24 ottobre 2008*
- M. Ioannilli, A. Paregiani et al: Progettazione e implementazione di metodologie per la redazione di Piani di Protezione Civile Comunale nella Provincia di Roma, in: *Atti 12a Conferenza Nazionale ASITA, L'Aquila 21 - 24 ottobre 2008*
- M. Ioannilli, A. Paregiani et al: Defining virtuous recycling users groups: a GIS-based modelling framework for the management of a market incentive program, in *The Journal of Solid Waste Technology and Management Department of Civil Engineering - Widener University*

### **Technical Reports**

- Ambrosanio M., Paregiani A. (2014). Università degli Studi di Roma Tor Vergata, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica, Attività di ricerca e sperimentazione applicativa nel progetto svolto dall'Università di Roma Tor Vergata per la Regione Lazio per la realizzazione di studi per la Condizione Limite dell'Emergenza ai sensi dell'OPCM n.4007/2012 per i Comuni di Agosta, Amatrice, Arcinazzo Romano, Atina, Bellegra, Borgorose, Broccostella, Canterano, Cerreto Laziale, Gorga, Mandela, Marano Equo, Picinisco, Poli, Sant'angelo Romano e Settefrati, Resp. Scientifico Ing. Maria Ioannilli, Report Tecnico

- Ambrosanio M., Paregiani A. (2013). Università degli Studi di Roma Tor Vergata, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica, Attività di ricerca nel progetto per la Regione Lazio per la redazione delle Linee guida regionali per la redazione di piani di emergenza di protezione civile a livello comunale, Resp. Scientifico Ing. Maria Ioannilli, Report Tecnico
- Ambrosanio M., Paregiani A. (2013). Università degli Studi di Roma Tor Vergata, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica, Attività di ricerca e sperimentazione applicativa per la realizzazione di un indice di affidabilità degli studi di Microzonazione Sismica in base alla tipologia e alla distribuzione delle indagini effettuate, Resp. Scientifico Ing. Maria Ioannilli, Report Tecnico
- Ioannilli M., Ambrosanio M., Celani G., Paregiani A. (2008). Piani di Protezione Civile Comunale: l'esperienza della Provincia di Roma, Provincia di Roma, Roma (Italy).