POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Gestionale Percorso Innovazione

Tesi di Laurea Magistrale

"Predizione del rischio, gestione delle crisi e policy maker: strumenti e metodi"

Relatore:
Prof. Guido Perboli
Correlatore:
Dr.ssa Mariangela Rosano

Candidato:
Maurizia Prette

Anno Accademico 2020/2021

“Nessun vento è favorevole
per il marinaio senza meta”

Lucio Anneo Seneca

Abstract

Il corrente lavoro di tesi è il risultato di ricerche ed analisi volte ad indagare i recenti sviluppi della disciplina della predizione del rischio e della gestione delle crisi. Specificatamente, riporta chi sono gli attori oggi coinvolti in tale ambito, ciò che li caratterizza, le procedure che adottano e gli strumenti ed i metodi che utilizzano o che, per essi, la letteratura propone. Parte di questi ultimi appartengono alla sfera dell'Intelligenza Artificiale, pertanto ad essa è dedicato un ampio spazio per approfondirne le logiche di funzionamento e le relative applicazioni. Infine, sono evidenziati i gap riscontrati, i miglioramenti apportabili, gli sviluppi futuri ipotizzati e dove possibile, quanto esposto, è contestualizzato dal confronto con la situazione attuale di pandemia globale da Covid-19.

Indice

1. Introduzione 7
2. Attori 8
   2.1. Istituti di ricerca 8
   2.2. Policy maker 13
   2.3. Industria, professionisti e popolazione 23
3. Contesto e Stato dell'arte 24
   3.1. Tassonomia e classificazione del rischio 24
   3.2. Difficoltà di gestione del rischio 29
   3.3. Governance del rischio 40
   3.4. Analisi predittiva e valutazione del rischio 41
   3.5. Preparazione al rischio e resilienza delle comunità 65
   3.6. Preparazione al rischio e resilienza delle aziende 74
   3.7. Italia: Gestione delle crisi e Recovery Plan 77
   3.8. Unione Europea: Gestione delle crisi e Recovery Plan 80
   3.9. Intelligenza artificiale ed applicazioni 85
   3.10. Approfondimenti per le classi di rischio 93
4. Conclusioni 128
5. Reference 134
6. Ringraziamenti 147

Appendice 1.1 149
Appendice 1.2 150
Appendice 1.3 151

Appendice 1.4 152
Appendice 1.5 153
Appendice 1.6 154
Appendice 1.7 155
Appendice 1.8 156
Appendice 1.9 157

1. Introduzione

La gestione del rischio è un processo complesso ed articolato, caratterizzato da una moltitudine di attività che richiedono il coinvolgimento di esperti e l'utilizzo di strumenti all'avanguardia. La norma UNI ISO 31 000 : 2018 [1] ne definisce le fasi standard: redazione di un piano per la comunicazione e consultazione degli stakeholder, definizione del contesto, identificazione ed analisi del rischio, la sua ponderazione, trattamento, monitoraggio e riesame e registrazione del processo stesso. Ad oggi, vi è un'ampia conoscenza delle cause e degli impatti dei rischi per persone, aziende e territori e si è diffusa la consapevolezza della necessità di adozione di un atteggiamento proattivo e resiliente a tutti i livelli. Tuttavia, il contesto dinamico di riferimento porta alla necessità di continui aggiornamenti dei dati e dei metodi utilizzati e dell'elaborazione di nuove ricerche ed analisi. In particolare, numerosi sforzi sono riservati allo studio della predizione dell'accadimento e dell'impatto del rischio per fare sì che sia possibile ottenere stime sempre più precise e puntuali utili per pianificare efficacemente ed efficientemente la preparazione e la risposta agli eventi avversi.

Questo lavoro di tesi si pone l'obiettivo di indagare i recenti sviluppi della disciplina della gestione del rischio e nello specifico di rispondere alle seguenti domande:

I. *"Chi sono i principali attori che oggi operano nella gestione del rischio e quali sono le loro caratteristiche?"*

II. *"A che punto è la conoscenza relativa alla predizione del rischio e alla gestione delle crisi e quali sono i metodi e gli strumenti utilizzati?"*

[1] UNI ISO 31000:2018, "Gestione del rischio - Principi e linee guida".

2. Attori

"Chi sono i principali attori che oggi operano nella gestione del rischio e quali sono le loro caratteristiche ?"

Per poter rispondere a tale domanda è stata condotta un'analisi partendo dal sito internet della Society for Risk Analysis [2] (SRA) [1] in cui è presente un elenco di 69 Istituti di ricerca che sulla scena mondiale ricoprono un ruolo rilevante nello studio del rischio. Di questi enti sono stati cercati i principali aspetti che li caratterizzano i cui risultati sono riportati nel sottoparagrafo successivo. Inoltre, sono state analizzate alcune delle relative pubblicazioni per un totale di 63 documenti da cui è emerso che, oltre agli Istituti di ricerca, gli attori che ricoprono un ruolo fondamentale nella gestione del rischio sono: i policy maker, l'industria, i professionisti e la popolazione.

2.1. Istituti di ricerca

Dato l'elenco dei 69 Istituti di ricerca presente sul sito internet SRA, per ognuno sono state cercate e raccolte le informazioni relative alla natura, all'offerta, alla tipologia di ricerche condotte, ai metodi di ricerca utilizzati, alla tipologia di rischi trattati ed alle aree di applicazione dei propri studi. Sei di questi Istituti non forniscono le informazioni necessarie per le analisi, pertanto, solo 63 dei presenti nell'elenco SRA sono stati presi in considerazione, i cui nomi sono riportati in appendice [3].

[2] SRA è una società accademica, internazionale e multidisciplinare che fornisce un forum aperto a tutti coloro che sono interessati all'analisi del rischio.
[3] Vedi Appendice: A 1.1; A 1.2; A 1.3

Dalla ricerca delle informazioni relative alla loro natura ovvero quali sono privati o pubblici e quali dipendono dalle università o al contrario sono enti autonomi ed indipendenti, si è ricavato che il 33% di questi Istituti di ricerca sono enti privati e che solo il 18% sono autonomi e indipendenti dalle università [4] (tra cui: Dipartimento di Management, London School of Economics and Political Science, è uno dei maggiori esponenti tra i pubblici e dipendenti dall'università e European Risk & Resilience Institute uno dei maggiori privati e indipendenti dall'università). Tale primo risultato è in linea con le aspettative, infatti solitamente le attività di ricerca di base e applicata sono condotte dalle università e finanziate dagli stati in quanto le industrie non vedono profittevole investire nella fase iniziale della catena dell'innovazione dato l'alto tasso di fallimento ed i risultati ancora lontani dalla possibilità di produrre un ricavo economico soddisfacente (Fig.1.)

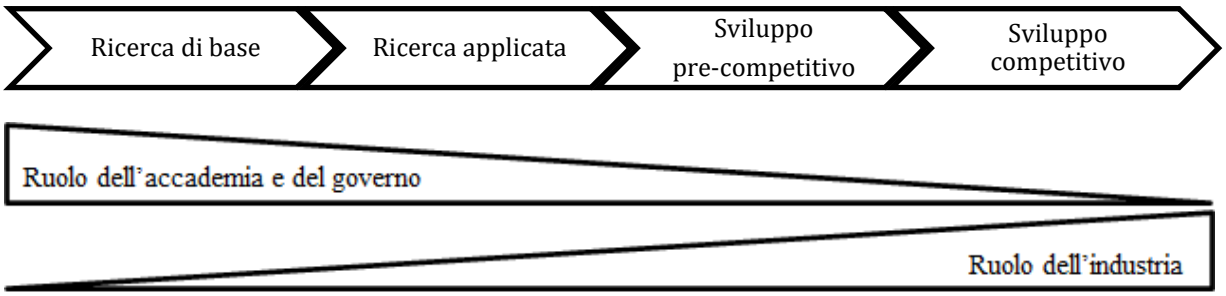

Fig.1. Modello lineare dell'innovazione [2]

Come secondo passo, dai siti internet degli Istituti di ricerca si è identificato quali offrono corsi di formazione. E' risultato che, relativamente al tema della trattazione del rischio, circa la metà, il 51%, offre corsi di master o di specializzazione universitaria e il 46% offre seminari, corsi brevi e di certificazione professionale [5]. Tali percentuali fanno riflettere su quanto oggi sia importante, nella gestione del rischio, formare studenti con competenze di alto

[4] Vedi Appendice: A 1.1; A 1.2; A 1.3
[5] Vedi Appendice: A 1.1; A 1.2 ; A 1.3

livello ed allo stesso tempo diffondere una conoscenza almeno di base aperta a tutti, compresi professionisti e popolazione.

Successivamente, entrando più nello specifico, sono state esaminate le attività dei ricercatori per capire quali sono le tipologie di studi condotti e le loro applicazioni. Si è riscontrato che le attività di ricerca sono soprattutto volte a:

- Colmare le lacune nella conoscenza (ad esempio, identificando le minacce emergenti o i nuovi sviluppi di quelle conosciute);
- Monitorare il trend dei rischi (ad esempio, stilando delle classifiche relative a quali sono i più impattanti anno per anno)
- Formulare dal punto di vista teorico nuovi metodi e strumenti di predizione ed analisi
- Capire mediante lo studio di casi reali quali sono gli errori più commessi nella gestione dei rischi e di conseguenza formulare nuove pratiche e regole da seguire.

Questi studi hanno diverse applicazioni [6] che possono essere riassunte con il grafico in Fig.2.. Di questo, è rilevante notare il terzo posto occupato dai sistemi in quanto, come si vedrà successivamente nella tesi [7], oggi si assiste ad un incremento delle interconnessioni tra i paesi, le aziende e le persone che porta a delle difficoltà di elaborazione e gestione.

[6] Vedi Appendice A 2.1; A 2.2; A 2.3
[7] Vedi Paragrafo 3.2.1.

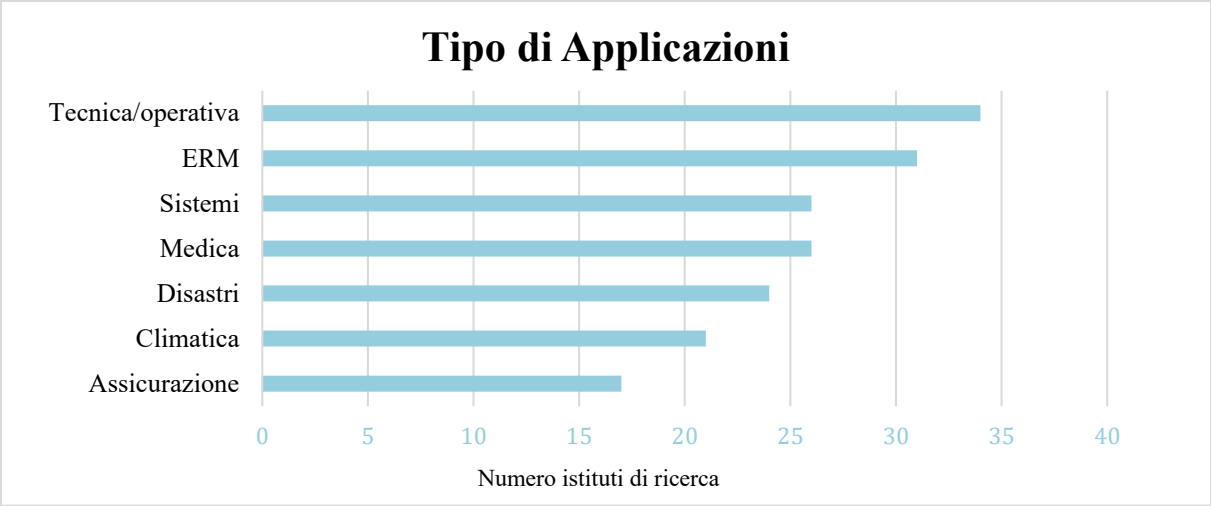

Fig.2. Applicazioni delle ricerche relative al rischio dei 63 Istituti dell'elenco del sito internet SRA

Inoltre, per quanto riguarda i destinatari degli studi, ve ne sono molteplici (non mutuamente esclusivi) di cui l'80% sono aziende e policy maker pubblici, una piccola parte policy maker finanziari e il 50% "altri" (ad esempio popolazione o lavoratori).

Sono state poi cercate le tipologie di rischio a cui gli Istituti di ricerca sono dedicati o su cui offrono corsi di formazione e le discipline che applicano per condurre i propri studi [8]. I risultati relativi alla prima parte si possono sintetizzare con il grafico di Fig.3. che rappresenta sull'asse orizzontale il numero di istituti (dei 63 della lista sul sito internet SRA) e sull'asse verticale le tipologie di rischi.

[8] Vedi Appendice A 2.1; A 2.2; A 2.3

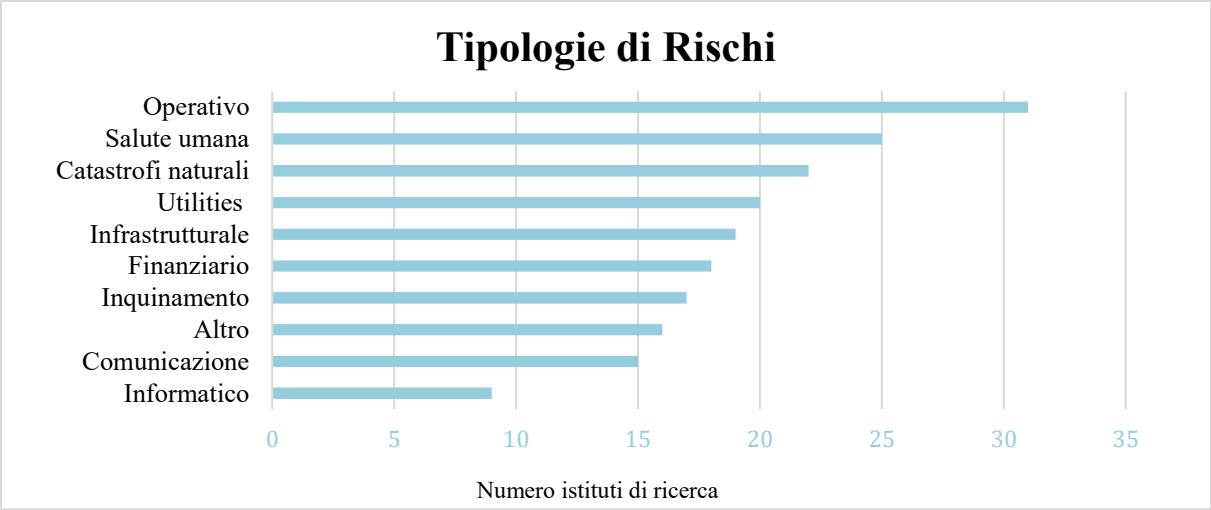

Fig.3. Tipologie di rischi trattati dai 63 Istituti dell'elenco del sito internet SRA

Nell'indicazione "altro" sono comprese diverse tipologie, tra cui: incidente nucleare, attacco terroristico, disordine politico, ecc.. È interessante notare che la comunicazione è prossima ad altre più comunemente percepite come minacce, questo risultato è ripreso successivamente nell'analisi delle pubblicazioni da cui sarà chiaro perché ricopre un ruolo così rilevante. Tuttavia, i risultati ottenuti non sembrano essere al passo con i tempi e non riflettono l'importanza che ha oggi il rischio informatico, il quale è considerato uno dei cinque più preoccupanti dell'anno 2019 [45] [132]. Le ragioni sottostanti questa discordanza possono risiedere in una differente velocità tra l'evoluzione del rischio e l'adattamento degli istituti. Potrebbe essere che le istituzioni non siano abbastanza veloci nel seguire i recenti sviluppi e che molte non si siano ancora mosse in modo strutturato dedicando a queste tipologie di rischio interi corsi formativi o dedicando appositi centri di ricerca ma si siano limitati a singoli studi e progetti.

Per quanto riguarda i metodi di ricerca utilizzati e le relative discipline, i risultati ottenuti sono rappresentati nel grafico di Fig.4.

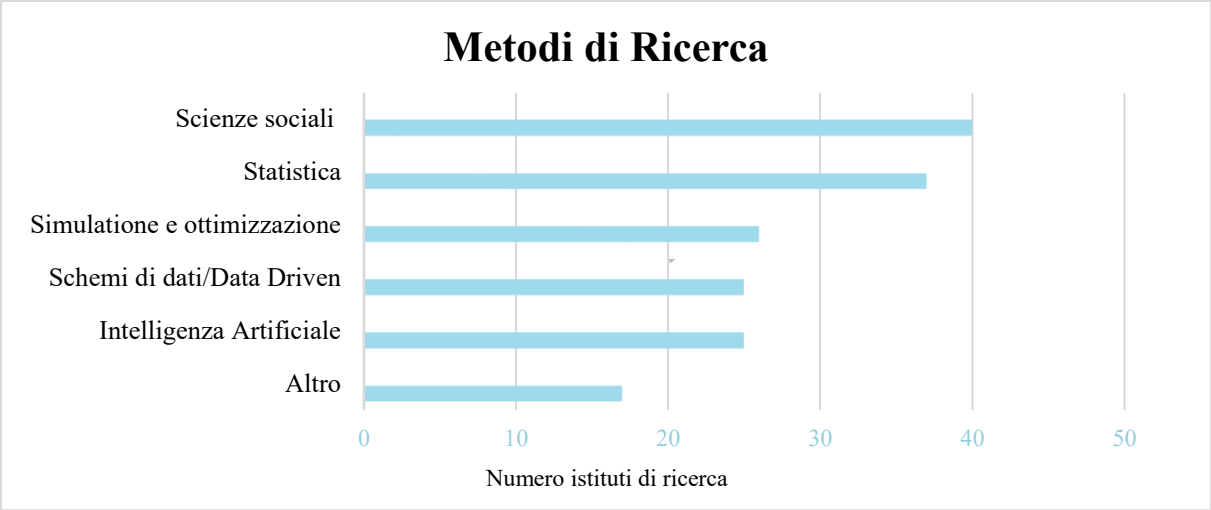

Fig.4. Metodi di ricerca applicati dai 63 Istituti dell'elenco del sito SRA

Nella classe "altro" possono rientrare i metodi provenienti dalla medicina, dalla biologia, della geologia, ecc.. In parte, i risultati ottenuti erano prevedibili, ad esempio quello dell'uso della statistica ma per altri come quello delle scienze sociali (economia, psicologia, ecc.) forse non tutti si sarebbero aspettati un risultato tanto alto. Inoltre, è bene notare il numero di Istituti di ricerca che fanno uso dell'intelligenza artificiale (IA) nei propri studi o a cui dedicano corsi e seminari appositi. La disciplina dell'IA si è sviluppata ufficialmente negli anni 50 del 1900 e ha fatto grandi progressi man mano che le macchine sono diventate più veloci, economiche e si sono dotate di maggiore potenza di calcolo il che ne ha facilitato l'industrializzazione e l'utilizzo su larga scala. Attualmente, le applicazioni sono molte e coprono diversi campi (tra cui, appunto, il rischio) e dato il trend positivo è probabile che l'impiego continui ad aumentare nel tempo.

2.2. Policy maker

I policy maker sono quegli enti od individui che hanno il potere di elaborare e determinare orientamenti e strategie in merito alle questioni più rilevanti per la società e la politica tra cui, la gestione dei rischi [3]. In questo paragrafo sono riportati i risultati relativi alla ricerca condotta per individuare i principali policy

maker della scena mondiale e le loro caratteristiche. La maggior parte di quelli elencati sono stati citati nel paper Fykse E. M. et al., 2017 [4].

2.2.1. Policy maker europei

Molti dei policy maker sono rappresentanti ed agenti della Commissione europea. L'UE, infatti, persegue due tipologie di politiche correlate alla gestione delle crisi e alla resilienza ai disastri: interna ed esterna. Quelle interne riguardano la sicurezza, la protezione e la gestione delle crisi degli Stati membri mentre quelle esterne riguardano i soccorsi internazionali e le operazioni esterne.

- DG HOME (Directorate-General for Migration and Home Affairs) [5]

La DG HOME è responsabile dell'asilo e della migrazione, nonché delle politiche per le frontiere e la sicurezza, entrambe correlate al disaster management. Tra queste politiche vi sono: la *Strategia antiterrorismo dell'UE* volta a combattere il terrorismo a livello globale consentendo ai suoi cittadini di vivere in uno spazio di libertà, sicurezza e giustizia, gli *Accordi di coordinamento delle emergenze e delle crisi (EU-CCA)* che definiscono le regole per le interazioni tra Istituzioni e Stati dell'UE colpiti da una crisi e gli *Accordi dell'UE integrati per la gestione delle crisi con effetti transfrontalieri (EU-ICMA)* per la cooperazione pratica tra gli Stati interni. Vi sono inoltre: *Il programma europeo per la protezione delle infrastrutture critiche (EPCIP)* relativo a tutti gli Stati dell'UE e a tutti i settori di attività economica verso le minacce non solo di terrorismo ma anche di attività criminali, catastrofi naturali e altre e *L'agenda europea sulla sicurezza (ECI)* volta a migliorare gli scambi di informazioni e la cooperazione operativa tra le autorità di contrasto ed a stabilire una serie di azioni da intraprendere a livello di UE per intensificare la lotta al terrorismo e alla criminalità organizzata ed informatica. Infine, la DG HOME supervisiona diverse agenzie decentrate come FRONTEX

(Agenzia europea della guardia di frontiera e costiera), Europol (Agenzia dell'UE per la cooperazione tra le forze dell'ordine), CEPOL e gestisce diverse reti e comunità come La community di utenti su società sicure e resilienti (CoU) che riunisce e facilita lo scambio di informazioni tra i responsabili politici e finanziari, la ricerca, l'industria, i professionisti e la popolazione.

- DG ECHO (Directorate-General for European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations) [6]

La missione principale della DG ECHO è preservare vite, prevenire e alleviare la sofferenza umana e salvaguardare l'integrità e la dignità delle popolazioni colpite da calamità naturali e crisi provocate dall'uomo. Gestisce due politiche dell'UE: protezione civile e aiuti umanitari. La prima promuove la cooperazione tra le autorità civili nazionali di protezione in tutta Europa e consente una risposta più rapida ed efficace alle emergenze coordinando la consegna delle risorse (come squadre di intervento ed attrezzature specifiche) per la protezione civile, al paese ed alla popolazione colpita. Il centro di coordinamento della risposta alle emergenze (ERCC) è il fulcro operativo del meccanismo, il quale si occupa anche di fornire comunicazioni di emergenza e strumenti di monitoraggio in tempo reale. Per migliorare ulteriormente la preparazione ai disastri, è stata creata la Capacità europea di risposta alle emergenze (EERC) che riunisce una serie di squadre di soccorso, esperti ed attrezzature, che gli stati partecipanti mettono a disposizione e che restano in attesa delle missioni. Il secondo settore principale gestito dalla DG ECHO è l'aiuto umanitario che include azioni politiche umanitarie come la riduzione del rischio di catastrofi, l'istruzione nelle emergenze ed i volontari per l'aiuto dell'UE.

- DG DEVCO (Directorate-General for International Partnerships) [7]

La DG DEVCO è il dipartimento della Commissione responsabile della politica dell'UE in materia di sviluppo, cooperazione allo sviluppo ed attuazione degli aiuti internazionali. Vuole garantire la sostenibilità economica, sociale ed ambientale e promuovere la democrazia, lo Stato di diritto, il buon governo ed il rispetto dei diritti umani, in particolare tramite aiuti esterni.

- DG GROW (Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs) [8]

Sebbene la DG GROW non sia direttamente coinvolta nella gestione dei disastri, viene comunque menzionata poiché è responsabile delle politiche industriali dell'UE ed ha un significativo effetto indiretto sulla gestione dei disastri. La DG GROW è anche responsabile della politica spaziale dell'UE attraverso i programmi Copernicus e Galileo, che sono entrambi strumenti utili nella gestione delle catastrofi.

- DG CLIMA (Directorate-General for Climate Action) [9]

Il DG CLIMA guida gli sforzi della Commissione europea per combattere il cambiamento climatico. In particolare, gestisce i negoziati internazionali sul clima, aiuta l'UE ad affrontare le conseguenze dei cambiamenti climatici ed a raggiungere i suoi obiettivi e sviluppa ed attua il sistema di scambio di quote di emissioni dell'UE.

- DG CNECT (Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology) [10]

E' la direzione responsabile dello sviluppo di un mercato unico digitale per generare una crescita intelligente, sostenibile e inclusiva in Europa.

- DG REGIO (Directorate-General for Regional and Urban Policy) [11]
- EEAS (European External Action Service) [12]

Il EEAS è il servizio diplomatico dell'Unione Europea che assiste l'alto rappresentante degli affari esteri a svolge l'attività estera e di sicurezza in modo efficace e coerente ed esegue la politica di sicurezza e difesa comune (PSDC). La PSDC svolge un ruolo di coordinamento centrale negli sforzi e nelle attività dell'UE in risposta alle crisi che consente all'UE di assumere un ruolo guida nelle operazioni di mantenimento della pace, nella prevenzione dei conflitti e nel rafforzamento della sicurezza internazionale.

- JRC (Joint Research Centre) [13]

Il JRC è il centro per la ricerca della Commissione Europea. Di per sé, non è responsabile per le politiche, ma agisce come un'agenzia esecutiva che assiste i vari servizi della Commissione offrendo loro servizi di ricerca. Il centro gestisce il progetto *European Reference Network for Critical Infrastructure Protection* (ERNCIP) il quale mira a fornire un quadro per una migliore protezione delle infrastrutture critiche contro tutti i tipi di minacce e pericoli e alla creazione di un mercato unico per le soluzioni di sicurezza.

Fondamentale è anche il ruolo dei policy maker finanziari come quello ricoperto dal Consiglio direttivo della BCE (Banca Centrale Europea [14]) il cui obiettivo è di mantenere stabili i prezzi nell'area dell'euro e contribuire alla sicurezza e solidità del sistema bancario europeo. La BCE definisce ed attua la politica monetaria, coordina le politiche economiche e fiscali nei paesi dell'UE, garantisce che il mercato unico funzioni senza criticità e supervisiona e monitora le istituzioni finanziarie [15].

Vi sono poi gli enti e le associazioni rappresentanti gli utenti della comunità che operano nelle discipline quali: applicazione della legge, servizi antincendio e di salvataggio, servizi medici di emergenza, gestione delle emergenze, di coordinamento, manutenzione delle infrastrutture critiche, gestione dei materiali o dei dispositivi pericolosi (CBRNE), organizzazioni private di guardie giurate, di supporto militare alla gestione delle emergenze e organizzazioni non governative. Di seguito, alcune delle organizzazioni od associazioni:

- Federazione delle associazioni dei vigili del fuoco dell'UE;
- EFRIM (European First Responder Innovation Managers), un'iniziativa per condividere le conoscenze dei primi soccorritori in Europa, avviare progetti di innovazione e dare voce alle esigenze della polizia, dei vigili del fuoco e dei paramedici europei;
- CFPA-Europe (Confederation of Fire Protection Associations Europe) [16] si occupa di scambi internazionali, formazione, linee guida, standard educativi, prevenzione degli incendi dolosi e conferenze relative alla prevenzione e protezione antincendio, nonché sicurezza e protezione e altri rischi associati;
- EENA (European Emergency Number Association) [17], un'organizzazione non governativa con la missione di contribuire a migliorare la sicurezza e la protezione delle persone;
- Ufficio della Croce Rossa dell'UE [18], rappresenta 27 società nazionali della Croce Rossa e aiuta a coordinare le relazioni tra gli stati membri e i responsabili delle decisioni e le parti interessate dell'UE;

Infine, vi sono associazioni ed enti rappresentanti la comunità industriale, tra cui:

- ASD (Aerospace and Defense Industries Association of Europe) [19], rappresenta le industry: Aeronautica, Spazio, Difesa e Sicurezza in Europa con l'obiettivo di promuovere e supportare lo sviluppo competitivo del settore;
- CoESS (Confederation of European Security Services) [20], confederazione costituita da 23 associazioni nazionali dei datori di lavoro nel settore della sicurezza privata;
- EBSA (European Biosafety Association) [21], associazione volta a rappresentare coloro che lavorano nel campo della biosicurezza e delle attività associate;
- Euralarm [22], associazione rappresentante l'industria della sicurezza e della protezione antincendio. Attiva nei processi paneuropei di test, audit e certificazione per prodotti e servizi di sicurezza antincendio;

2.2.2. Policy maker globali

A livello globale il principale decisore politico per la gestione dei disastri è l'ONU con i suoi programmi, fondi ed agenzie specializzate per affrontare problematiche umanitarie e di sviluppo.

Alcuni dei programmi e dei fondi sono:

- UNDP (United Nations Development Programme) [23]: Programma di sviluppo che fornisce consulenza di esperti, formazione e sovvenzioni ai paesi in via di sviluppo per guidarli alla resilienza per sostenere il progresso;
- UNICEF (United Nations International Children's Emergency Fund) [24]: Fondo per l'infanzia che fornisce aiuti umanitari ed assistenza a bambini e madri;

- UNHCR (United Nations High Commissioner for Refugees) [25]: Organizzazione globale dedicata a salvare vite umane, proteggere i diritti e costruire un futuro migliore per i rifugiati, le comunità di sfollati forzati e gli apolidi;
- WFP (World Food Programme) [26]: fornisce assistenza alimentare nelle emergenze e lavora con le comunità per migliorarne la nutrizione e costruirne la resilienza;
- UNODC (United Nations Office on Drugs and Crime) [27]: l'Ufficio contro la droga e il crimine, aiuta gli Stati membri a combattere la droga, la corruzione, la criminalità economica ed il terrorismo;
- UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development) [28]: è un organismo intragovernativo che riferisce all'Assemblea generale delle Nazioni Unite e al Consiglio economico e sociale su temi relativi al commercio ed allo sviluppo. Aiuta i paesi in crescita ad accedere ai vantaggi di un'economia globalizzata in modo più equo ed efficace. Svolge analisi, facilita la costruzione del consenso ed offre assistenza tecnica. Il tutto con obiettivi di uno sviluppo inclusivo e sostenibile;
- UNEP (United Nations Environment Programme) [29]: definisce l'agenda ambientale globale, promuove l'implementazione coerente della dimensione ambientale dello sviluppo sostenibile all'interno del sistema delle Nazioni Unite e funge da autorevole sostenitore dell'ambiente globale;
- UN Habitat (United Nations Human Settlements Programme) [30]: Programma volto alla promozione di uno sviluppo di insediamenti socialmente ed ambientalmente sostenibili ed il raggiungimento di un rifugio adeguato a tutti fatto di città sicure, inclusive, resilienti e sostenibili;

Le agenzie specializzate sono organizzazioni autonome che lavorano attraverso accordi negoziati con le Nazioni Unite e hanno direttamente od indirettamente impatto sulle decisioni relative ai rischi. Tra le principali si elencano:

- WHO (World Health Organization) [31]: autorità di direzione e coordinamento internazionale della salute all'interno del sistema delle Nazioni Unite. L'obiettivo è il raggiungimento da parte di tutti i popoli di uno stato di completo benessere fisico, mentale e sociale;
- FAO (Food and Agriculture Organization) [32]: Organizzazione per l'alimentazione e l'agricoltura, guida gli sforzi internazionali per combattere la fame. Si assicura che le persone abbiano accesso regolare ad una quantità sufficiente di cibo di alta qualità per condurre una vita attiva e sana;
- IFAD (International Fund for Agricultural Development) [33]: Fondo internazionale per lo sviluppo agricolo, si è concentrato esclusivamente sulla riduzione della povertà rurale, per eliminare la fame e la malnutrizione, aumentare la produttività ed il reddito e migliorare la qualità della vita della popolazione rurale;
- IMO (International Maritime Organization) [34]: Organizzazione marittima internazionale è l'agenzia specializzata delle Nazioni Unite che ha la responsabilità della sicurezza e della protezione delle navi e della prevenzione dell'inquinamento marino ed atmosferico causato da esse;
- ICAO (International Civil Aviation Organization) [35]: Organizzazione internazionale dell'aviazione civile che stabilisce le regole internazionali sulla navigazione aerea, le indagini sugli incidenti aerei e le procedure di attraversamento aereo delle frontiere;
- ITU (International Telecommunication Union) [36]: Agenzia specializzata delle Nazioni Unite per le tecnologie dell'informazione e della comunicazione, persegue l'obiettivo di facilitare la connettività internazionale nelle reti di comunicazione;

- UNIDO (United Nations Industrial Development Organization) [37]: Organizzazione volta a promuovere ed accelerare lo sviluppo industriale per la riduzione della povertà, la globalizzazione inclusiva e la sostenibilità ambientale;
- UNDRR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction) [38]: Ufficio delle Nazioni Unite per la riduzione dei disastri, punto focale nel sistema degli Stati Uniti per il coordinamento della riduzione del rischio di disastri (DRR). Informa e collega le persone fornendo servizi e strumenti pratici come il sito web per la riduzione del rischio "PreventionWeb", pubblicazioni su buone pratiche, profili dei paesi e il rapporto di valutazione globale sulla riduzione del rischio di catastrofi (una biennale analisi dei rischi e delle tendenze di disastro globale);

Inoltre, a livello globale i policy maker finanziari che ricoprono un ruolo rilevante sono principalmente: il Consiglio esecutivo dell'IMF (International Monetary Fund) [39] e il Consiglio dei governatori della Banca Mondiale [40]. IMF è una organizzazione di 180 paesi che opera con l'obiettivo di favorire la cooperazione monetaria globale, garantire la stabilità finanziaria, facilitare il commercio internazionale, promuovere un'occupazione elevata ed una crescita economica sostenibile e ridurre la povertà in tutto il mondo. La Banca Mondiale, similmente, è costituita da 187 paesi membri e punta a ridurre la povertà, aumentare la prosperità condivisa e promuovere lo sviluppo sostenibile. Nello specifico, quest'ultima è una delle maggiori fonti mondiali di finanziamento e conoscenza per i paesi in via di sviluppo offrendo consulenza politica e assistenza tecnica ai governi e al settore privato: finanziamenti, assistenza tecnica, assicurazione contro i rischi politici e risoluzione di controversie (anche alle istituzioni finanziarie).

Si riportano, infine, le Organizzazioni autonome che cooperano con le Nazioni Unite e hanno un ruolo internazionale nelle rispettive aree di interesse:

- IAEA (International Atomic Energy Agency) [41]: centro mondiale per la cooperazione nel campo nucleare per un uso sicuro, protetto e pacifico delle tecnologie nucleari.
- OPCW (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons) [42]: ente di attuazione della Convenzione sulle armi chimiche.
- IOM (International Organization for Migration) [43]: Organizzazione volta a garantire l'ordine nella gestione della migrazione per promuovere la cooperazione internazionale sulle questioni migratorie, assistere la ricerca di soluzioni pratiche ai problemi migratori e fornire assistenza umanitaria.

2.3. Industria, professionisti e popolazione

La gestione del rischio dipende strettamente dalle decisioni dei policy maker ma le comunità e l'industria possono fare la differenza. Infatti, il governo può informare ed incentivare la popolazione e le aziende ad adottare un atteggiamento resiliente ed a prepararsi alle varie minacce da cui possono essere colpiti ma la decisione di adattarsi e l'entità delle misure intraprese spesso sono una decisione dei singoli non imponibile dalla legge. Pertanto, è fondamentale che i decisori politici sviluppino piani di resilienza e di gestione delle crisi integrando e tenendo in considerazione questi agenti e le loro necessità. Informazioni più precise e dettagliate a riguardo sono riportate nei paragrafi seguenti [9].

[9] Vedi Paragrafi 3.5. e 3.6.

3. Contesto e Stato dell'arte

Il corrente capitolo riporta la risposta alla seconda domanda posta inizialmente:

"A che punto è la conoscenza relativa alla predizione del rischio e gestione delle crisi e quali sono i metodi e gli strumenti utilizzati?"

Le informazioni di base utilizzate sono state raccolte da molteplici ricerche su diverse fonti presenti in rete. La prima, dal materiale dei siti internet dei Centri di ricerca che si occupano di rischio (presenti nell'elenco SRA [10]), di cui sono state selezionate ed analizzate 38 pubblicazioni degli ultimi cinque anni relative alla predizione del rischio ed alla gestione delle crisi. La seconda, dalla piattaforma Scopus laddove, impostando appositi filtri è stato possibile risalire ad altre 25 pubblicazioni, anch'esse degli istituti sopra citati degli ultimi cinque anni. Infine, è stato esaminato il materiale disponibile sul web relativo a specifici argomenti di cui si ritenevano necessari degli approfondimenti.

3.1. Tassonomia e classificazione del rischio

La Tassonomia del rischio è la classificazione gerarchica delle minacce e delle relative categorie primarie di rischio, mediante le quali offre una visione completa delle corrispondenze causa - effetto note. E' il primo strumento di cui si dovrebbe avere conoscenza ed è solitamente utilizzato inizialmente, nelle fasi di pianificazione e progettazione come, ad esempio, nello sviluppo di piani per le operazioni aziendali o nelle attività di simulazione delle minacce.

Il Cambridge Centre for Risk Studies ha sviluppato una tassonomia del rischio [44] in cui ha identificato cinque classi primarie di macro catastrofi scomposte in

[10] Vedi Appendice A 1.1; A 1.2; A 1.3

dodici famiglie di rischi, ognuna a sua volta suddivisa in minacce, che vanno da tre a sei tipologie. Alla base di ogni minaccia vi è l'assunzione di indipendenza per cui ogni classe può essere considerata derivante da cause che sono indipendenti e questa caratteristica è utile per la manipolazione statistica e la combinazione di eventi.

Classe primaria: Catastrofi Naturali e Clima		
Famiglia	Minaccia	Descrizione
Catastrofe naturale	Terremoto	Scosse del suolo originatesi in un punto collocato nella crosta terrestre per effetto di fenomeni di natura tettonica
	Tempesta di vento	Tempesta segnata da vento molto forte ed eventualmente turbini
	Tsunami	Moto ondoso anomalo del mare causato da un terremoto sottomarino o vicino alla costa
	Alluvione ed inondazione	Allagamento provocato da acqua straripante e accumuli di materiale fluviale al di fuori degli argini dopo l'esondazione
	Eruzione vulcanica	Fuoriuscita sulla superficie terrestre di magma ed altri materiali gassosi provenienti dal mantello o dalla crosta terrestre.
Catastrofe climatica	Siccità	Prolungata assenza d'acqua, in genere per insufficienti precipitazioni atmosferiche
	Ondata di freddo	Periodo di tempo durante il quale la temperatura è insolitamente bassa rispetto alla media
	Ondata di calore	Periodo di tempo durante il quale la temperatura è insolitamente elevata rispetto alla media
Catastrofe ambientale	Innalzamento livello del mare	Innalzamento in seguito allo scioglimento dei ghiacciai o l'espansione termica degli oceani o alla variazione di salinità
	Cambiamento del sistema oceanico	Variazione improvvisa dei sistemi di circolazione dell'oceano, come la corrente del Golfo, causato dal cambiamento climatico regionale
	Cambiamento del sistema atmosferico	Periodi rapidi o prolungati di cambiamento nei modelli di circolazione metereologica
	Inquinamento	Alterazione o contaminazione dell'ambiente o di materiali, con mezzi naturali od artificiali e ad opera di agenti organici od inorganici
	Incendio boschivo	Incendio non pianificato, indesiderato e incontrollato in un'area di vegetazione combustibile

Classe primaria: Finanza e Commercio		
Famiglia	Minaccia	Descrizione

Shock finanziario	Bolla speculativa	Inflazione dei prezzi e crollo improvviso di un settore od una classe di asset
	Irregolarità finanziaria	Frode aziendale o contabile, commercio in nero, schemi Ponzi ed altre
	Corsa agli sportelli	Fallimento bancario, default del credito delle banche o dei partecipanti di mercato
	Default sovrano	Default del debito, svalutazione della valuta o fallimento dello stato
	Crollo del mercato	Movimenti di massa estremamente correlati ai prezzi delle azioni, probabilmente causati da informazioni o percezioni sui fondamentali economici
Dispute commerciali	Controversie sul lavoro	Scioperi e controversie varie
	Sanzioni commerciali	Embargo commerciale da paese a paese che nega l'ingresso o il passaggio di beni e servizi commerciali
	Guerra tariffaria	Protezionismo attraverso l'imposizione della tassazione di un particolare insieme di beni o servizi
	Nazionalizzazioni	Appropriazione sovrana di beni di proprietà straniera in quel paese
	Pressione dei cartelli	Il blocco commerciale dei fornitori applica pressioni sui prezzi o sull'offerta

Classe primaria: Geopolitica e Società		
Famiglia	Minaccia	Descrizione
Conflitto geopolitico	Guerra convenzionale	Conflitto militare tra nazioni usando armi convenzionali per colpire infrastrutture militari e difendere / invadere una sovranità
	Guerra asimmetrica	Azione militare, insorgenza e resistenza violenta condotta tra combattenti con diverso potere, risorse ed interessi
	Guerra nucleare	Conflitto militare con utilizzo di armi nucleari
	Guerra civile	Conflitto interno di un paese, tra cui guerre di successione e colpi di stato
	Forza esterna	Attacchi missilistici od altre azioni militari da parte di forze esterne per contrapporsi ad autorità nazionali che perseguono politiche interne ritenute dannose
Violenza politica	Terrorismo	Azioni criminali violente premeditate allo scopo di suscitare terrore e disordine politico
	Separatismo	Campagna di violenza sostenuta per ragioni d'indipendenza
	Disordine civile	Disobbedienza civile sino a rivolte e movimenti per la rivoluzione
	Assassinio	Uccisione, ad esempio di un leader politico
	Crimine organizzato	Onde di criminalità, campagne di estorsione criminale od attività illegali di massa che debilitano le attività commerciali

Classe primaria: Salute ed Umanità		
Famiglia	Minaccia	Descrizione
Epidemie	Epidemia umana	Pandemie influenzali, emergenti malattie infettive ed epidemie di ritorno di malattie che possono causare il decesso di persone
	Epidemia animale	Malattie negli animali che paralizzano la produzione di carne e pollame o distruggono la fauna selvatica
	Epidemia delle piante	Malattie nelle piante che impattano sulla produzione del cibo o causano distruzione dell'ambiente ecologico
Crisi umanitaria	Carestia	Ampia parte della popolazione soffre per il fallimento della fornitura o distribuzione del cibo o del sistema di produzione agricolo
	Mancanza di approvvigionamento di acqua	Ampia parte della popolazione soffre per il fallimento della fornitura dell'acqua a causa di un conflitto di risorse, deviazione di un fiume o altre cause
	Crisi di rifugiati	Movimenti di massa della popolazione causano instabilità e problemi sulle infrastrutture sociali nelle aree nuovamente popolate
	Fallimento del sistema di welfare	Caduta dei regimi pensionistici, dei programmi di salute e dei sistemi di sicurezza sociale che portano alla privazione ed a difficoltà per i pazienti e/o danni innescati dal sottofinanziamento

Classe primaria: Tecnologia e Spazio		
Famiglia	Minaccia	Descrizione
Catastrofe Tecnologica	Esplosione nucleare	Emissioni radioattive all'esterno della centrale nucleare con ricadute di vasta area su popolazione, economia ed agricoltura
	Incidente industriale	Incendio, esplosione o rilascio di sostanze chimiche tossiche da un complesso industriale, un impianto di stoccaggio o durante un trasporto
	Guasto delle infrastrutture	Blackout nella rete di alimentazione elettrica od altri guasti alle infrastrutture dovuti ad incidenti e rotture
	Incidente tecnologico	Effetti del progresso tecnologico che possono causare danni sociali alle popolazioni e disruption
	Cyber-catastrofe	Reti di computer, di comunicazioni e di informazioni tecniche che vengono destabilizzate da virus, hacking o altri problemi di sicurezza informatica
Esternalità	Meteoriti	Impatto al suolo di meteoriti che provocano distruzione localizzata e polveri in grado di causare periodi di cenere
	Tempesta solare	Attività del brillamento solare che può interferire con satelliti, tecnologia di comunicazione, di distribuzione dell'energia ed altre

Classe primaria: Altri

Le classi di rischio e le minacce, una volta identificate, possono essere classificate sulla base dell'impatto economico che possono causare. A tal fine, può essere utilizzato il *Pil@Risk*, un indice sviluppato dal Cambridge Centre for Risk Studies [45] per dare una misura quantitativa della "perdita economica attesa" in seguito ad una catastrofe. Le classifiche relative al 2019 sono riportate di seguito, dove la prima è specifica per le minacce (Fig.5.) mentre la seconda per le classi primarie di macro catastrofi (Fig.6.)

Fig.5. Classifica delle minacce dell'anno 2019 [45]

Il Cambridge Centre for Risk Studies relativamente a questa classifica sottolinea il trend positivo del rischio Cyber che, tra il 2018 e il 2019, è salito di un grado.

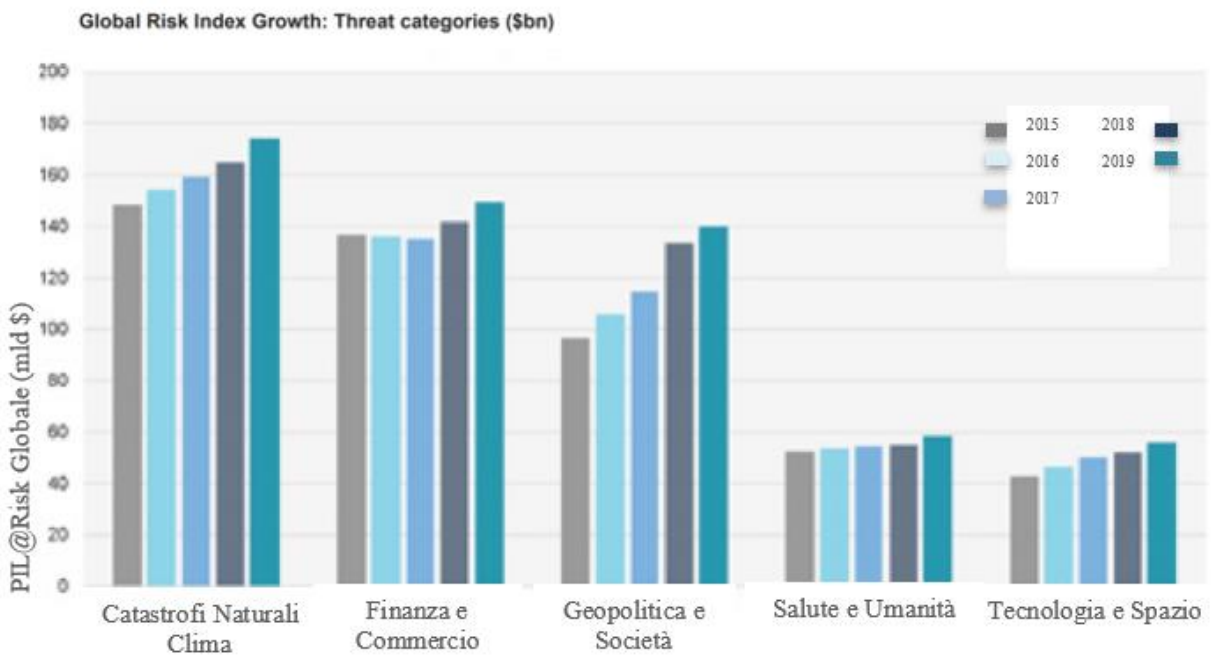

Fig.6. Crescita dell'Indice PIL@Risk Globale per categorie di rischio [45]

Le prime tre classi di minacce nell'Indice 2019 sono: Catastrofi Naturali e Clima (con un PIL@Risk di 147 miliardi di euro, il 30% del totale), Finanza e Commercio (PIL@Risk di 126 miliardi di euro, 26% del totale) e Geopolitica e Società in terzo posto.

3.2. Difficoltà di gestione del rischio

In questo paragrafo sono descritte le principali problematicità che si riscontrano nella disciplina della gestione del rischio, ovvero: elaborare la numerosità di interdipendenze tra gli elementi dei sistemi trattati e le minacce (con i conseguenti effetti a cascata), adottare un approccio di analisi multidisciplinare necessario per avere una visione completa e conciliare la presenza di più stakeholder con interessi e responsabilità differenti se non talvolta contrastanti. Infine, sono riportate alcune delle soluzioni adottate per affrontarle.

3.2.1. Interdipendenze e rischio sistemico

Il rischio sistemico è una categoria introdotta dall'OCSE (Organisation for Economic Co-operation and Development) nel 2003 volta ad indicare il rischio che un'intera rete o ampia parte di essa fallisca a causa di un danno inizialmente localizzato. Le infrastrutture presenti nelle odierne società, non operano isolate l'una dall'altra, bensì sono altamente interconnesse, unidirezionalmente o reciprocamente. Ad esempio, i sistemi di telecomunicazione richiedono la fornitura di energia per funzionare ed i complessi di erogazione di energia, a loro volta, richiedono un'infrastruttura di telecomunicazioni per poter operare in modo efficiente. Pertanto, un gran numero di proprietà, tra cui la resilienza, l'efficienza, lo stato operativo, ecc. non sono solo funzione dello stato dell'infrastruttura stessa ma di tutti gli altri elementi con cui ha delle interdipendenze. Conseguenza diretta di ciò è che uno shock od un evento avverso che impatta su un'infrastruttura critica può provocare guasti ed effetti a cascata sulle altre interconnesse. Inoltre, questi sistemi possono essere largamente distribuiti arrivando così ad essere esposti ad un incrementale varietà di pericoli e le perdite indirette possono andare ben oltre le aree geografiche interessate dall'evento. Il rischio sistemico oltre a quanto già descritto è soggetto al comportamento umano ed in particolare a quello "try and error" (imparare per tentativi), il quale di fronte a sistemi non lineari molto vasti incoraggia le persone a ripetere i propri errori perché il feedback ricevuto rimane positivo per molto tempo ma, una volta raggiunto il picco limite massimo, le conseguenze sono irreversibili e drammatiche. Infine, vi è il noto problema del pool comune: poiché ogni soggetto contribuisce solo marginalmente al rischio sistemico, non vi è alcun incentivo al cambiamento comportamentale [46] e gli attori che assumono la posizione di free rider e lasciano che altri investano nella riduzione del rischio possono avere comunque dei vantaggi poiché tutti raccoglieranno i benefici allo stesso modo.

Dalla letteratura si risale a otto tipologie di interdipendenze descritte nella sottostante tabella [47].

N°	Tipologia	Descrizione
1	Fisica	Lo stato di un'infrastruttura dipende dall'output di un'altra infrastruttura
2	Informatica	Lo stato di un'infrastruttura dipende dalle informazioni trasmesse da un'altra infrastruttura
3	Geografica	Lo stato di due o più infrastrutture dipende da un evento ambientale locale
4	Logica	Può essere paragonata ad uno schema di controllo che collega un agente in un'infrastruttura a un agente in un'altra senza alcuna connessione fisica, informatica o geografica diretta
5	Funzionale	Un'operazione di un'infrastruttura è necessaria per un'operazione di un'altra
6	Politica	Relazioni e collegamenti introdotti delle policy o da decisioni di alto livello che impattano su due o più infrastrutture
7	Condivisione	Componenti / servizi / attività che sono in condivise tra due o più infrastrutture
8	Economica	Interazioni attraverso mercati economici e relazioni di fornitura od utilizzo

L'istituto Europeo per il rischio e la resilienza (EU-VRi) tramite uno studio degli indicatori utilizzati per le analisi delle infrastrutture critiche, ha prodotto una mappa dalla quale si possono evincere le principali interdipendenze (Fig.7.). In essa, le infrastrutture dei casi di studio sono rappresentate da grandi cerchi verdi e gli indicatori da piccoli cerchi blu. Questi, sono collegati se l'indicatore è stato utilizzato almeno una volta per la valutazione della relativa infrastruttura. Così come si può vedere in figura, i sistemi che presentano più collegamenti sono di fornitura dell'energia e idrica, sanità pubblica e trasporto.

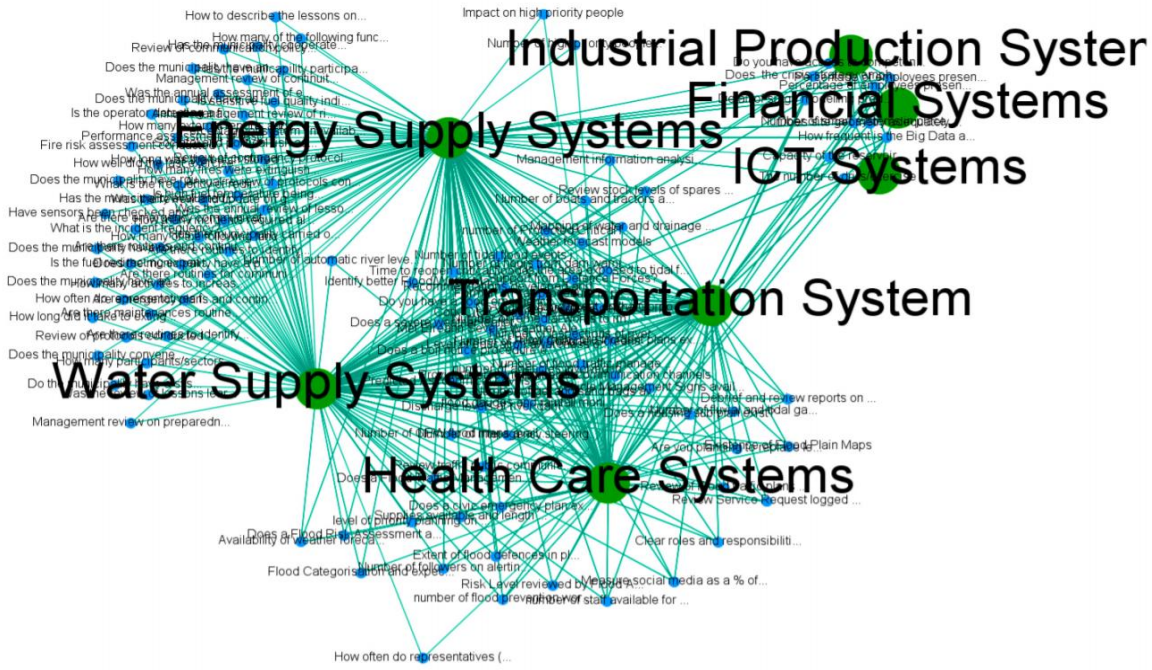

Fig.7 Mappa delle interdipendenze [47]

Le infrastrutture, quindi, devono essere progettate e regolate tenendo in considerazione i pericoli e gli effetti di rete. Negli ultimi anni si sono sviluppate nuove generazioni di modelli capaci di tenere in considerazione gli effetti sistemici, i quali sono raggruppabili in sei diversi tipi di approcci di modellazione empirici, basati su: agenti, dinamica dei sistemi, teoria economica, reti e altri. Di seguito si riporta un approfondimento prendendo spunto dalla pubblicazione Ouyang M., 2014 [48].

Approcci empirici

Gli approcci empirici analizzano i sistemi basandosi su dati storici quantitativi e qualitativi e sull'esperienza degli analisti. Il condurre le analisi in funzione di quanto accaduto nel passato, in seguito ai diversi eventi avversi, rende questi approcci particolarmente validi quando vi sono delle interdipendenze che non sono visibili durante il regolare funzionamento di un sistema ma che emergono solo dopo la manifestazione delle minacce. Gli strumenti impiegati nella quantificazione dei collegamenti sono soprattutto statistici classici ed

econometrici, come la correlazione statistica. Oggi una spinta all'implementazione è data dalla diffusione sempre maggiore delle tecniche di analisi dei Big Data anche se ancora numerosi database non sono uniformati e quindi possono risultare difficili da sfruttare. Grazie all'intuito celato dietro ai giudizi degli esperti, gli approcci empirici sono favorevolmente applicati nello studio di interdipendenze logiche e geografiche complesse che non sono subito evidenti nei dati.

Approcci basati su agenti (ABM)

Gli approcci ABM si basano su una logica bottom-up e sulla considerazione che i sistemi coinvolgono molti processi decisionali di diversi individui, i quali, con le proprie scelte possono cambiare lo stato dell'infrastruttura. Queste decisioni possono dare vita a dei loop dinamici di feedback per cui, cambiando le infrastrutture, le azioni degli individui mutano e così via. L'ABM quindi rappresenta un sistema come un insieme di agenti che perseguono autonomamente il raggiungimento di un personale obiettivo preciso in un ambiente condiviso e le cui scelte sono prese in relazione al proprio stato e ad un insieme di regole che ne definiscono il comportamento. Gli agenti interagiscono tra loro ma non tutti contemporaneamente e solitamente con un sotto - insieme di agenti vicini tra loro e solo con l'ambiente circostante. Ne consegue che le informazioni ottenute dagli individui/enti sono date dal sottogruppo con cui comunicano e dalla porzione di ambiente in cui sono localizzati [49]. Una volta realizzata la rappresentazione del sistema su micro scala si possono operare delle simulazioni ed analisi di scenari "what-if" con l'intento di testare le interazioni, le conseguenze e prevedere quanto potrebbe accadere nel caso più complesso del sistema a livello macro. Una caratteristica degli approcci ABM è la flessibilità che li distingue da quelli analitico-matematici. Si prestano ad essere utilizzati per l'interpretazione della struttura e delle dinamiche del sistema finanziario specialmente per la

comprensione dei meccanismi di propagazione delle crisi. Inoltre, possono essere utilizzati nel marketing dell'energia elettrica e nella gestione del sistema di trasmissione coinvolgendo gli agenti che generano e consumano energia e considerando la topologia della rete di trasmissione che li collega. Infine, possono anche essere applicati nella definizione o nella valutazione della resilienza a eventi estremi esogeni, come le condizioni meteorologiche avverse, andando a studiare le interdipendenze geografiche, economiche e politiche rilevanti. Tuttavia, delle limitazioni sono poste dalla mancanza di sufficienti quantità di dati necessari per la modellazione dei comportamenti degli agenti e dall'esigenza di stabilirli a priori, la cui varietà determina il numero di possibili simulazioni. Di seguito è riportato un esempio di preparazione degli input per l'applicazione del metodo ABM all'esondazione di un fiume. Innanzitutto, è importante considerare che non basta aumentare linearmente la scala di eventi locali per ottenere dei risultati a livello macro. Partendo dalla distribuzione della perdita di un'alluvione su micro scala si riporta a livello nazionale utilizzando un certo tipo di funzione copula (metodo matematico per stimare la probabilità di un evento congiunto dalle probabilità dei singoli eventi corrispondenti). Ottenute queste perdite, esse sono distribuite tra gli agenti esposti tramite una sovrapposizione di dati spaziali sulla copertura del suolo e le informazioni spaziali esplicite del capitale sociale esposto in particolari settori. Nella figura sottostante (Fig.8.) a sinistra sono mostrate le aree con agenti esposti utilizzando colori diversi per le tipologie di agenti e accanto sono mostrate le aree allagate derivate dall'approccio della copula. Sovrapponendo le due mappe, otteniamo gli agenti interessati nell'evento (a destra). Questa procedura viene ripetuta per ogni regione in modo indipendente e utilizzato come scenario di input per l'ABM.

Fig.8. A sinistra sono mostrate le tipologie di agenti esposti. Al centro l'area allagata (in fucsia) e a destra la sovrapposizione delle due che mostra gli agenti colpiti [50].

Approcci basati sulla dinamica dei sistemi (SD)

Sono modellazioni di tipo top-down in cui il sistema viene osservato dall'alto partendo dal presupposto che ci possono essere delle proprietà che caratterizzano il complesso che non possono essere cercate tra quelle degli elementi e i loro singoli comportamenti. Per cui, internamente ai sistemi diventano rilevanti le relazioni circolari, intrecciate ed a volte ritardate. A tal proposito, per poter essere applicati questi approcci utilizzano il concetto di non linearità e di causalità e tengono in considerazione molti elementi come i feedback, gli accumuli ed i ritardi. Nello specifico, vengono utilizzati ed analizzati i cicli di feedback a livello di componenti di sistema, i diagrammi del ciclo causale per catturare le influenze causali ed i diagrammi stock e flusso per determinare gli stati o i livelli del sistema che sono misurati in funzione delle velocità dei flussi delle informazioni o dei beni fisici. Gli SD al fine di riflettere l'evoluzione nel lungo periodo ritraggono le cause e gli effetti degli eventi avversi tenendo in considerazione gli aspetti politici e tecnici. Lo strumento CIP / DSS (Critical Infrastructure Protection / Decision Support System) è un esempio di attuazione di questi approcci. Gli SD trovano applicazione soprattutto nella trattazione delle dinamiche più complesse determinate da comportamenti irregolari come, ad esempio, quelle che caratterizzano i cambiamenti del mercato dei capitali o la diffusione di una malattia infettiva. I limiti sono dati dalle necessità di: una grande quantità di dati

non sempre reperibili e giudizi degli esperti per la determinazione dei collegamenti causali che rendono gli SD degli approcci semi quantitativi.

Approcci basati sulla teoria economica

Tali approcci sono tradizionalmente ampiamente utilizzati e descrivono un sistema in funzione delle interdipendenze economiche che lo compongono. Si dividono in due tipologie, basati: sull'input-output e sulle teorie dell'equilibrio generale. Nel primo le economie sono rappresentate come reti di rapporti di dipendenza tra i singoli settori in relazione ai flussi di ingresso ed uscita dei prodotti generati e dei servizi tra essi erogati, nello specifico, è considerato come l'output di un settore industriale è utilizzato come input per un altro settore e come la non operatività di uno avrà impatto sullo stato dell'operatività degli altri. Dal punto di vista pratico le relazioni possono essere modellate utilizzando una matrice intersettoriale dove le colonne rappresentano gli ingressi ai settori e le righe le uscite corrispondenti (le unità delle voci della matrice solitamente hanno valore monetario). I dati possono essere raccolti da fonti di larga scala come i database di analisi economica dei conti nazionali e non a livello di componente. La seconda tipologia di modellazione, che si basa sulle teorie dell'equilibrio generale, va oltre il modello precedente considerando le relazioni non lineari e le interdipendenze funzionali, fisiche e di bilancio. Considera il mercato popolato da due tipi di agenti: i produttori e le famiglie, i quali agiscono per massimizzare le rispettive funzioni di utilità che dipendono anche dal proprio stato ed interazioni. Inoltre, permette di includere nelle equazioni aspetti relativi alla resilienza economica consentendo ad esempio la sostituzione degli input in risposta ai cambiamenti del mercato. Ciò che limita questa tipologia di modellazione è la dipendenza della calibrazione delle funzioni di utilità e produzione dalla scelta della forma funzionale e la difficoltà di esecuzione dinnanzi a pochi dati.

Approcci basati sulla rete

I sistemi di infrastrutture possono facilmente essere descritti da reti, in cui i nodi corrispondono ai diversi componenti e le loro interdipendenze sono riflesse dai collegamenti. I nodi del grafico possono teoricamente rappresentare tutte le entità che l'analisi vuole considerare, dagli elementi fisici come un palazzo od una strada ai fornitori dei servizi come scuole ed ospedali ai relativi beneficiari o ancora ai gruppi vulnerabili specifici della popolazione come gli anziani. Per i collegamenti potrebbe essere necessario definire delle regole con cui mapparli (ad esempio: "i pazienti si recano all'ospedale più vicino") oppure dei pesi per ponderarli nel caso questi avessero diversa intensità ed importanza. Le relazioni possono essere direttamente osservabili o funzionali, nel secondo caso le reti possono essere estratte con una tecnica chiamata "analisi della rete di correlazione". In cui si dispone di dati di serie temporali da diverse fonti. L'idea è di definire una misura di somiglianza per ogni coppia di serie temporale, come il coefficiente di correlazione di Pearson che fornisce una stima di come probabilmente un cambiamento in una serie temporale coincide con lo stesso (od opposto) cambiamento di un'altra. Utilizzando tecniche di filtraggio appropriate, è possibile estrarre una rete funzionale dalla matrice di correlazione. Successivamente, può essere analizzata utilizzando misure di rete standard per identificare buoni diffusori, hub, colli di bottiglia, ecc. Non vi è alcuna garanzia che un collegamento nella rete funzionale rappresenti una relazione causale diretta ma ci potrebbe essere una terza variabile non osservabile che guida la correlazione osservata. La topologia di una rete funzionale spesso permette di capire quali nodi sono i candidati più probabili per spiegarne le proprietà funzionali specifiche. Le reti possono essere analizzate secondo due approcci diversi ma correlati: in funzione della topologia o dei processi di flusso che le attraversano. Nel primo caso, le interdipendenze sono quantificate in termini di caratteristiche topologiche di rete per le quali possono essere utilizzate misure di connettività, cioè degli indici statistici che danno diverse informazioni sul grado di connessione tra i soggetti considerati, come: Degree Centrality, Betweenness Centrality, Closeness Centrality, Clustering coefficient e altri. Secondo quanto riportato in La Torre P. (2014) [51] le definizioni sono le seguenti. Con il primo viene misurato semplicemente il numero di connessioni che legano un nodo agli altri elementi

della rete. Con la Closeness Centrality viene misurata la distanza di un nodo da tutti gli altri, ma a differenza della Degree Centrality, tale indice considera il network nel suo insieme (non limitandosi al singolo nodo) il che viene calcolato come l'inverso della somma della distanza più corta dagli altri. Nel caso della Betweenness Centrality (Fig.9.) invece viene misurata la centralità del nodo rispetto all'intero grafo, ovvero, si quantifica il numero di volte in cui un nodo agisce come ponte nel percorso più breve per collegare altri due nodi ed è utilizzata per calcolare il potere di mediazione tra le parti.

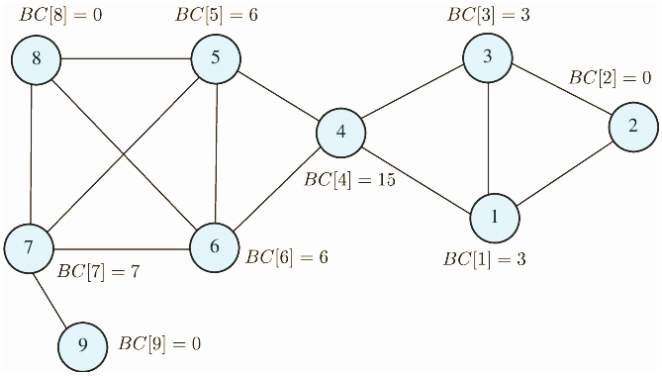

Fig.9. Esempio dei valori di Betweenness Centrality dei nodi rappresentati [52]

Metodi basati sul flusso al contrario, considerano i processi dinamici che si svolgono sulle reti. Esistono software e programmi appositi per analizzare e trattare le reti, ad esempio, il pacchetto Igraph ed il pacchetto di libreria specifico per l'analisi di rete dell'ambiente.

Altri

Infine, vi è anche una vasta gamma di altri approcci di modellazione statistici e/o dinamici per la modellazione delle interdipendenze che non possono essere classificate in uno dei modelli precedenti. Alcuni di questi approcci hanno le radici in tecniche di apprendimento automatico, come reti Petri, reti bayesiane o in sviluppi della teoria dei sistemi, come la teoria del controllo.

Tuttavia, la ricerca di altre tecniche di modellazione delle interdipendenze o di miglioramenti delle attuali è ancora aperta, in quanto, vi sono delle problematiche

e difficoltà che devono essere superate. In Ouyang M., (2014) [48], vengono citate le difficoltà correlate all'assenza di dati completi e raccolti in un formato uniforme universalmente consultabile ed utilizzabile, alla natura dinamica delle infrastrutture e dei collegamenti che richiedono di apportare ripetuti aggiornamenti ed alla necessità di utilizzare più approcci in contemporanea per ottenere risultati completi ed affidabili.

3.2.2. Multistakeholder

In un'organizzazione, un governo o una comunità sono numerosi i soggetti più o meno responsabili coinvolti nella gestione del rischio. Tra questi vi sono: i policy maker, gli istituti di ricerca, l'industria, i professionisti e la popolazione. Pertanto, non sempre è semplice coordinare tutti gli interessi e delineare ed attuare una politica di prevenzione e risposta che sia allineata e coesa. Partendo dagli elementi che alla base compongono il sistema, come le singole infrastrutture, esse stesse possono essere possedute e gestite da proprietari ed operatori distinti che possono perseguire obiettivi diversi e le cui responsabilità spesso non sono ben dichiarate od identificabili separatamente. Inoltre, un'infrastruttura che si estende su un territorio molto vasto potrebbe essere soggetto a più normative a volte, persino contrastanti. In aggiunta, gli attuali quadri normativi rafforzano queste tendenze concentrandosi sulla performance specifica di settore, il che porta sempre più ad inefficienze dell'utilizzo delle risorse ed ostacola gli approcci collaborativi alla resilienza.

3.2.3. Multidisciplinarietà

Un'altra criticità della disciplina di gestione del rischio è la necessità di adottare un approccio multidisciplinare per catturare l'intera gamma di influenze tecnologiche, psicologiche, sociali e politiche che la caratterizzano. Molti centri

di ricerca, infatti, adottano un approccio multiforme così da identificare e valutare l'impatto di una catastrofe o crisi su ciascuno di tali domini. A conferma di ciò, dall'analisi condotta sugli Istituti di ricerca che operano nell'ambito del rischio si è ricavato che molti di questi applicano nei propri studi gli insegnamenti ed i metodi delle scienze sociali con una percentuale del 60% al pari della statistica oltre alle altre discipline come l'ottimizzazione e la simulazione al 40% o approcci data driven (schemi di dati) anch'essi con una percentuale di utilizzo del 40%. [11]

3.3. Governance del rischio

Nel corrente paragrafo è descritta la procedura generica di gestione del rischio che prevede al suo interno le attività di valutazione del contesto, identificazione, analisi e ponderazione del rischio e finale scelta dell'azione da intraprendere (tra evitare, trasferire, mitigare o assumere per perseguire un'opportunità).

Il primo passo previsto dalla governance del rischio è la valutazione preliminare del contesto esterno ed interno in cui opera l'azienda od il governo di riferimento. Per la comprensione dei fattori esterni devono essere identificati gli elementi determinanti e le tendenze fondamentali che possono influenzare gli obiettivi, quali le relazioni con i portatori d'interesse esterni e con l'ambiente sociale, politico, finanziario, tecnologico, economico, naturale e competitivo. Nella determinazione del contesto interno deve invece essere identificato tutto ciò che nell'azienda o nel governo può influenzare il modo in cui intendono gestire il rischio (responsabilità, obiettivi, risorse a disposizione, valori, ecc.) ed inoltre devono essere definiti i criteri da utilizzare per valutarne la significatività.

Il passo successivo è una valutazione vera e propria che prevede: identificazione,

[11] Vedi paragrafo 2.1.

analisi e ponderazione del rischio. L'obiettivo è generare un elenco completo dei rischi con associate le minacce, le cause e i potenziali effetti (diretti, indiretti e a cascata), eseguire una stima dell'impatto e della probabilità di accadimento ed infine scegliere quali rischi necessitano di un trattamento e determinare le relative priorità di attuazione. Gli eventi avversi in base alla strategia intrapresa possono essere: evitati (eliminazione della fonte di rischio), trasferiti, mitigati o assunti per perseguire un'opportunità. Nella maggior parte dei casi sfavorevoli la scelta migliore è evitare l'accadimento ma non sempre è possibile, pertanto, si può rispondere con il trasferimento (per esempio mediante una copertura assicurativa) o con la mitigazione nel tentativo di ridurre l'impatto e / o la probabilità di accadimento [53]. Nel caso in cui si decida di affrontare il rischio, i passi successivi della governance sono: preparazione dell'azione, risposta e ripristino dello stato iniziale. In tutte queste fasi è necessario coinvolge gli attori e gli stakeholder rilevanti, in modo da cogliere quali sono per loro le varie prospettive sul rischio, le opportunità associate e le potenziali strategie per affrontarlo. Infatti, la migliore scelta è adottare un atteggiamento proattivo ed inclusivo [54].

Infine, per fare sì che i piani siano efficaci ed efficienti è necessario supportare e rafforzare la capacità di un sistema di auto-organizzarsi e autocontrollarsi in modo che sia sempre pronto in autonomia ad affrontare le interruzioni e gli incidenti. Questo, vale tanto per le società ed i governi che per le aziende e le singole infrastrutture [54].

3.4. Analisi predittiva e valutazione del rischio

In questo paragrafo è introdotta la procedura generale di analisi predittiva del rischio, le tecniche (alberi decisionali, regressione lineare e logistica, reti neurali, ecc.) e gli strumenti utilizzati, senza però esaminare quelli adottati per specifiche

categorie di rischio (che sono riportati nel paragrafo appositamente dedicato [12]). Gli strumenti descritti nella prima parte sono i programmi e le piattaforme volte a facilitare l'implementazione delle tecniche di analisi predittiva (ad esempio MATLAB). Quelli descritti nella seconda sono:

- Uno strumento di recente realizzazione sviluppato da Steinbeis R-Tech e EU-VRi: il *Risk Radar* [55], per ottenere i primi allarmi sui rischi correlati all'emergenza da Covid-19 ma che potrebbe essere preso di esempio ed essere esteso ad applicazioni per altri rischi emergenti;
- Il *PIL@Risk* [45], uno strumento sviluppato dal Cambridge Centre for Risk Studies per prevedere quantitativamente l'impatto economico di eventuali catastrofi sull'economia mondiale in un orizzonte temporale di tre anni ed identificare le aree più a rischio, mediante la modellazione di scenari;
- Il software del modello economico di *Oxford Economics* [56], che fornisce una struttura per la previsione e il test degli scenari sulla base di un solido sistema di equazioni e dati a disposizione;
- Piattaforme di modellazione dell'impatto multirischio, come *HAZUS, CAPRA, RISKSCAPE e CLIMADA.*

Alla fine del paragrafo è riportata una discussione sugli impatti a lungo termine delle catastrofi.

Con l'espressione "predizione del rischio" si indica l'annuncio dell'accadimento e dell'impatto, potenziali, di un evento rischioso. Di solito alla base della previsione vi sono le stime degli esperti che alle proprie conoscenze affiancano ricerche di dati storici della minaccia, valutazioni del sistema e del contesto specifico, metodi statistici classici ed analisi delle probabilità degli eventi.

[12] Vedi Paragrafo 3.10.

Tuttavia, negli ultimi 5/10 anni lo scenario in cui operano gli esperti del rischio è cambiato rispetto a quello precedente. Infatti, essi hanno a disposizione grandi quantità di dati (che possono essere raccolti dai sensori, da informazioni di terze parti, da appunti dei call center, dai registri web, ecc.), macchine più veloci e dotate di maggiore potenza di calcolo a basso costo e software più facili da usare, il tutto in parallelo a scenari più complessi da analizzare, con maggiori relazioni ed interdipendenze. Ne consegue che si è diffuso l'impiego dell'analisi predittiva, ovvero di tecniche statistiche o del machine learning al fine di creare una previsione quantitativa sul futuro estrapolando il potenziale dei big data [134]. Le tecniche che possono essere utilizzate dagli esperti in tale ambito permettono di sfruttare le nuove opportunità ed affrontare al meglio le difficoltà. Esse, trattano le grandi quantità di dati con algoritmi statistici e tecniche dell'apprendimento automatico, dell'apprendimento profondo e del data mining per sviluppare (od addestrare) dei modelli capaci di prevedere i valori di dati diversi o di dati nuovi o la probabilità di risultati futuri. L'obiettivo è superare la comprensione di cosa è successo per ottenere una previsione di quello che accadrà in futuro.

Attualmente, i metodi di predizione tradizionali consentono di ottenere in media stime accurate su un orizzonte temporale di un anno e mediamente accurate (al 70%) nel caso di due anni. Anche le tecniche dell'apprendimento automatico si prestano soprattutto a previsioni di breve termine. Tuttavia, spesso i primi segnali delle crisi si manifestano già cinque od otto anni prima, pertanto, gli studiosi sono alla ricerca di possibili miglioramenti da apportare affinché sia possibile ottenere delle stime accurate su intervalli temporali più lunghi [57]. I progressi raggiunti nel tempo consistono soprattutto nell'introduzione di indici e tassi nei modelli statistici e nell'utilizzo di variabili non finanziarie, che è stato dimostrato permettono di estendere il tempo della previsione. Recentemente, in uno studio condotto dal Centro di ricerca internazionale CIRRELT [57] è stato sviluppato un sistema di supporto alle decisioni basato su tecniche di Machine Learning capace

di prevedere una crisi aziendale (default o bancarotta), oltre che nel breve termine, sino a 60 mesi prima che questa si manifesti.

Esistono due tipologie di modelli di analisi predittiva: i modelli di classificazione e di regressione. I primi prevedono l'appartenenza ad una classe e quindi una variabile categorica, ad esempio, si classifica se un cliente è in procinto di andarsene o no o se un credito è “buono” o “cattivo” e di solito i risultati di tali modelli sono sotto forma di “0” o “1”. I secondi prevedono un numero, una variabile quantitativa, ad esempio dopo quanti mesi si guasterà un componente di una macchina [58]. In aggiunta, vi sono i modelli di clustering che non fanno una previsione vera e propria ma sono capaci di raggruppare i dati per somiglianza il che potrebbe comunque essere utile. In ogni caso, il processo di analisi predittiva prevede le seguenti otto fasi [59]:

1. Identificare un database di partenza e pulire i dati rimuovendo gli outlier e trattando quelli mancanti;
2. Identificare un approccio di modellazione;
3. Eseguire la preelaborazione dei dati in una forma adeguata all’algoritmo prescelto;
4. Selezionare quali dati del database impiegare per l’addestramento;
5. Addestrare o stimare i parametri del modello a partire dall’insieme dei dati di addestramento;
6. Testare le prestazioni del modello o della bontà del fitting per verificare l’adeguatezza;
7. Validare l’accuratezza della modellazione sulla porzione di dati non scelti per l’addestramento;

8. Se i risultati sono soddisfacenti si può applicare per predire i risultati correlati a nuovi database;

Oltre alla pulizia dei dati, prima dell'applicazione dell'algoritmo potrebbe essere necessario il calcolo statistico di: covarianza, correlazione, deviazione, interpolazione e molti altri fattori dei dati oppure potrebbe essere necessaria un'attività di normalizzazione min - max (garantisce che tutte le caratteristiche abbiano la stessa scala) o di riduzione delle variabili o standardizzazione dei dati.

Le tecniche di modellazione predittiva ed i relativi algoritmi più utilizzati sono: gli alberi decisionali, la regressione lineare e logistica e le reti neurali ma ve ne sono molti altri [58]. Di seguito è riportato un elenco dei principali.

- Gli *alberi decisionali (DT)* [146] sono tecniche che si sviluppano secondo una struttura gerarchica e a seconda della tipologia di variabili che prevedono possono risolvere problemi di classificazione o regressione [135]. Inizialmente esaminano i dati e cercano una variabile specifica che li divida nei gruppi logici sottostanti. Alcuni degli algoritmi che possono essere impiegati in questa fase, di scelta ottimale a livello locale dell'attributo da usare nel partizionamento dei dati, sono: Hunt's Algorithm, CART (Seleziona l'attributo che minimizza l'impurità), ID3 (guadagno dell'informazione), C4.5 (evoluzione di ID3) e C5.0. Esistono criteri di controllo che limitano la crescita degli alberi, basati sul massimo numero di regole ottenibili o "profondità" raggiungibile o, ancora, sul numero minimo di osservazioni che devono essere presenti in ogni nodo per poter effettuare la divisione (splitting). In tale ambito, rientra anche la fase di pruning la quale consiste nell'ottenere il più piccolo sottoalbero che, non compromettendo l'accuratezza della previsione, identifica e rimuove quei rami che rappresentano rumori nei dati o outlier.

Gli alberi decisionali sono intuitivi e gestiscono bene i valori mancanti. Tuttavia, comportano il rischio di overfitting ovvero sono sensibili ai dati specifici su cui vengono formati per cui, se i dati di allenamento vengono modificati, l'albero decisionale risultante e le previsioni possono essere abbastanza diverse. Inoltre, gli eventi di base sono considerati statisticamente indipendenti il che fa sì che gli alberi decisionali non siano particolarmente adatti a rischi multi-pericolo. Infine, per quanto riguarda la scalabilità questa è possibile nel momento in cui si adottano appositi approcci in cui si prevede: costruzione incrementale dell'albero, combinazione degli alberi costruiti su partizioni separate o riduzione del dataset tramite campionamento come negli algoritmi: SLIQ e SPRINT.

- La *regressione (lineare o logistica)*. La regressione lineare è una tecnica che permette di stimare le relazioni tra le variabili e mostra come quelle indipendenti vengono utilizzate per spiegare ed / o prevedere il risultato di una o più variabili dipendenti di risposta. Nel caso semplice vi sono una variabile di regressione ed una di risposta, nel caso multi variabile più regressori ed una di risposta e nel caso multivariato una o più variabili di regressione e più di una di risposta. Questa tecnica consente di trovare dei pattern chiave nei dati di grandi dimensioni. I coefficienti della regressione possono essere ricavati con il metodo dei minimi quadrati, ovvero minimizzando l'errore. E' comunemente utilizzata per la modellazione e la previsione dei sistemi economici e finanziari. E' adatta nella previsione di dati continui o quantitativi come il numero di clienti che porterà un nuovo prodotto o le entrate generate il mese successivo o quanto un fattore specifico come il prezzo influenza la circolazione di un bene.

  Se la relazione tra le variabili non è lineare, in alcuni casi i modelli di regressione permettono di effettuare delle trasformazioni con l'obiettivo di linearizzare la relazione. È il caso della *regressione logistica*, dove per la

trasformazione vengono utilizzati i logaritmi. La regressione logistica è utilizzata per risolvere problemi di classificazione, che possono essere a risposta dicotomica ovvero di solo due valori (come 0 o 1) oppure multinomiali con diversi livelli di risposta (come basso, medio ed alto oppure 1, 2 e 3). Questa tecnica si utilizza per misurare la relazione tra la variabile dipendente ed una o più variabili indipendenti quantitative stimando delle probabilità tramite una funzione logistica. Successivamente, i valori ottenuti vengono trasformati in valori binari o multipli in base alla vicinanza o meno alle classi. L'equazione di regressione logistica può essere espressa con la seguente formula:

$$y = \frac{e^{(b0+b1*x)}}{1+e^{(b0+b1*x)}}$$

[60]

in cui i coefficienti beta sono stimati con il metodo di massima verosimiglianza che permette di ottenere quella serie di coefficienti di regressione per i quali la probabilità di ottenere i dati osservati è massima. La regressione logistica espressa come probabilità ha la seguente forma:

$$P(X) = \frac{e^{(b0+b1*X)}}{1+e^{(b0+b1*X)}}$$

[60]

e calcola la probabilità che, dato il valore per la variabile di input pari a "X", questa appartenga alla classe predefinita Y=1. Un vantaggio nell'utilizzo di questo metodo è la possibilità di studiare l'effetto di ciascuna variabile individualmente e di conoscere la probabilità associata all'esito. Tuttavia, pecca di accuratezza e richiede l'aggiornamento dei parametri ad ogni applicazione ad un nuovo settore o contesto e non permette di ottenere previsioni di lungo periodo (non superano un anno)

- Le *Reti Neurali (NN)* sono modelli quantitativi che imparano ad associare degli input ai corrispettivi output in modo adattivo con l'uso di algoritmi di apprendimento, sono sviluppati secondo una struttura stratificata di nodi interconnessi che assomiglia alla rete dei neuroni del cervello umano. Ogni nodo rappresenta un neurone artificiale ovvero un'unità di calcolo che riceve un input e restituisce un output, solitamente tramite una funzione non lineare di una media ponderata dell'ingresso (Fig.10.).

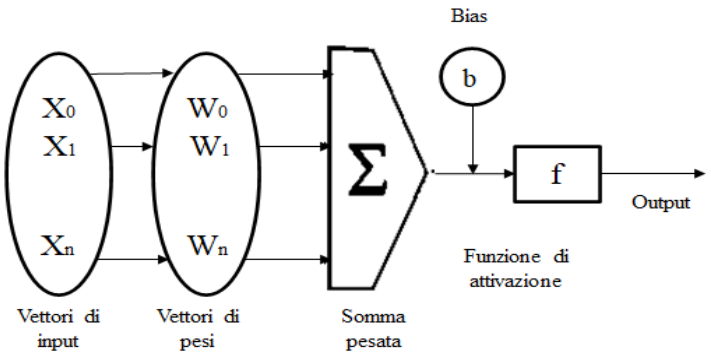

Fig.10. Rappresentazione della struttura di un neurone artificiale

Sono tecniche sofisticate in grado di modellare relazioni estremamente complesse. Una rete neurale può apprendere dai dati, essere addestrata a riconoscere pattern, fare classificazioni e prevedere eventi futuri. Sono apprezzate in quanto potenti e flessibili e in particolare, il loro valore risiede nella capacità di gestire le relazioni non lineari nelle associazioni tra le variabili di input e quella target e quando non si conosce una formula matematica che li metta in relazione. Sono caratterizzate da elevata accuratezza e da robustezza al rumore e agli outlier. Sono veloci nella classificazione ma possono richiedere un lungo tempo di addestramento motivo per cui non si scalano con facilità su grandi quantità di dati. Inoltre, rientrano tra i modelli black box.

Tra le diverse tipologie di base di reti neurali vi è il *Perceptron Multistrato (MLP)*, la cui rete è composta da più strati di neuroni e può essere utilizzata in problemi di classificazione o regressione. Le connessioni avvengono in

una direzione predefinita, non vi sono cicli così che questo tipo di rete è chiamata feed-forward, gli input vengono alimentati al primo livello, quindi l'output va al secondo livello e così via. I dati inizialmente vengono inviati al livello di input e a seguito potrebbero esserci uno o più livelli nascosti di astrazione ed infine le previsioni vengono effettuate sul livello di output, chiamato anche visibile. Nel caso della regressione i dati di output sono spesso forniti in un formato tabulare. Quando i livelli latenti sono tanti, molti saranno i parametri in gioco, il che porta al rischio di sovradattamento del modello. Tale problema potrebbe essere risolto senza ridurre la dimensione della rete (dal momento che è proprio quella che consente di cogliere anche i pattern più complessi), ma ricorrendo ad una regolarizzazione come, ad esempio, mediante penalizzazioni andando ad inserire un termine apposito nella funzione di minimizzazione per regolare l'influenza dei parametri interni al modello oppure mediante "dropout" in cui sono eliminati in modo casuale alcuni nodi in fase di stima. Alternativa recentemente sviluppata è il Dataset augmentation che consente di incrementare artificialmente la dimensione del dataset di addestramento [61].

Una variante di MLP sono le *Reti Neurali Convoluzionali (CNN)* che sono state progettate per mappare i dati di un'immagine su una variabile di output. Queste, comprendono uno o più strati di convoluzione di operazioni matematiche il cui obiettivo è quello di individuare ed estrarre, con elevata precisione schemi, come ad esempio: curve, angoli, circonferenze o quadrati raffigurati in un'immagine: viene così eliminata la necessità di estrazione manuale delle caratteristiche. Ciascun livello nascosto aumenta la complessità delle caratteristiche apprese dell'immagine, ad esempio: il primo layer potrebbe imparare a rilevare i bordi mentre l'ultimo a rilevare forme più complesse, specifiche per la forma dell'oggetto che si cerca di

riconoscere [145]. Dopo i livelli convoluzionali è posto il livello ReLU (Rectified Linear Units) con il compito di annullare valori non utili ottenuti nei livelli precedenti ed il livello di pooling che esegue un'aggregazione delle informazioni, generando feature map di dimensione inferiore. Le CNN si adattano bene a tutti i dati che hanno una relazione spaziale come, ad esempio, (oltre alle immagini) le relazioni d'ordine tra le parole in un documento di un testo.

Infine, vi sono le *Reti Neurali Ricorrenti (RNN)* le quali includono neuroni collegati tra loro in loop in connessioni all'indietro o verso lo stesso livello. Il concetto di ricorrenza introduce quello della memoria di una rete, che consente di osservare i cambiamenti e riconoscere azioni diverse. Pertanto, le RNN sono metodi particolarmente utili nella trattazione di analisi dei testi, in quanto in una frase non conta solo quali parole vi sono ma è importante anche come queste sono tra loro legate oppure nella comprensione di un comportamento all'interno di un video. Inoltre, si applicano agli audio ed in problemi di traduzione, speech-to-text e sentiment analysis;

- *Random Forest (RF)* è una tecnica di classificazione e regressione che fa parte della famiglia dei metodi Ensemble, i quali, consistono in una combinazione di molti singoli modelli semplici (weak learner) in un unico modello per ottenere previsioni più accurate e ridurre l' overfitting. RF esegue un'operazione di bagging ovvero con il bootstrap addestra diversi alberi decisionali (weak learner) in parallelo su vari sottoinsiemi del set di dati di addestramento, scelti casualmente, utilizzando diversi sottoinsiemi di funzionalità disponibili e poi li aggrega. Il risultato finale restituito da Random Forest è: nel caso di un problema di regressione semplicemente la media del risultato numerico restituito dai diversi alberi e nel caso di un problema di classificazione la classe restituita dal maggior numero di alberi.

I metodi Ensemble hanno il vantaggio di operare bene con dataset sbilanciati. Gli alberi RF sono insensibili a distribuzioni distorte, valori anomali e valori mancanti. Tipicamente, maggiore è il numero di alberi, migliori saranno le prestazioni, con lo svantaggio di un incremento del costo computazionale. Mettendo a confronto i metodi, RF generalmente supera gli Alberi Decisionali, la Regressione Logistica e le Reti Neurali, ma la precisione è inferiore a quella del Gradient Boosting.

- *AdaBoost e Gradient Boosting,* sono tecniche di classificazione e regressione che fanno parte della famiglia dei metodi Ensemble, pertanto si basano sulla combinazione di weak learner per creare un modello più potente. I metodi boosting operano una costruttiva strategia di formazione dell'ensemble, differentemente dal RF che invece si limita ad una semplice media dei modelli dell'insieme, questi sono iterativi e ad ogni passaggio, costruiscono un weak learner che viene aggiunto a quelli già presenti per comporre un modello in cui lo scopo è correggere le carenze dell'insieme boosting combinato di tutti i modelli precedenti.

  Il primo algoritmo di boosting creato fu *AdaBoost,* abbreviazione di Adaptive Boosting, la cui procedura inizia attribuendo a tutte le osservazioni lo stesso peso e costruendo un modello su un sottoinsieme di dati. Successivamente, il modello stima l'intero set di dati, le previsioni vengono confrontate con i valori effettivi ed alle istanze sono assegnati dei pesi tanto maggiori quanto più sono errate così che il predittore successivo si concentri maggiormente su di esse. Questo processo viene ripetuto fino a quando la funzione di errore non cambia o viene raggiunto il limite massimo del numero di stimatori. Quando AdaBoost utilizza alberi decisionali si ferma ad una profondità pari ad 1 che corrisponde ad alberi costituiti da un nodo e due foglie che prendono il nome di ceppo (Decision Stump) e pertanto AdaBoost si presenta come una foresta di ceppi.

Questa tecnica non è parallelizzabile. In generale, è veloce, semplice e facile da programmare e richiede meno parametri da modificare rispetto ad algoritmi come SVM. Ha applicazioni nella classificazione del testo e delle immagini ma viene soprattutto utilizzato per prevedere l'abbandono dei clienti e la classificazione dei tipi di prodotti a cui i clienti si interessano. AdaBoost è anche estremamente sensibile ai dati rumorosi e ai valori anomali, che vanno prima eliminati.

Un'altra tecnica di boosting è il *Gradient Boosting* (GB, potenziamento del gradiente), il quale compone un modello di più weak learner con l'obiettivo di minimizzare il gradiente di una funzione di costo come, ad esempio, il MSE (errore quadratico medio tra valore osservato e predetto, ossia del residuo) in cui punta ad abbassare iterativamente il valore assoluto di tutti i residui. Questo è fatto utilizzando ad ogni iterazione gli errori calcolati come variabile di destinazione e cercando la divisione migliore per ridurre al minimo l'errore.

Solitamente, i weak learner utilizzati sono gli alberi decisionali e il Gradient Boosting è meno soggetto ad overfitting dei dati rispetto a questi presi singolarmente, pertanto, spesso ne migliora l'efficacia. Il GB è considerato uno dei più performanti algoritmi della famiglia Ensemble. In uno studio condotto dal Centro di ricerca internazionale CIRRELT [57], questo algoritmo è quello che ha ottenuto i risultati migliori superando la Regressione Logistica, le Reti Neurali e, seppur di poco, RF. Infatti, GB ha riportato i più bassi valori di Log-Loss. Inoltre, GB nel caso particolare dello studio condotto, è stato quello che ha generalizzato meglio seguito da RF.

- Recentemente, è stato sviluppato il sistema *XGBoosting,* un'implementazione open source specifica del metodo Gradient Boosting [140]. Per la strutturazione dell'albero il sistema punta a minimizzare una

funzione obiettivo che combina una funzione di perdita (basata sulla differenza tra i valori osservati e previsti) e un termine di penalità per la complessità del modello. XGBoosting è noto per la propria scalabilità (scala fino a miliardi di esempi in contesti con memoria limitata) in tutti gli scenari, la quale, è dovuta a diversi sistemi ed ottimizzazioni algoritmiche. Queste innovazioni includono [62]:

- un algoritmo di gestione dei dati sparsi;
- una procedura per la gestione dei pesi delle istanze nell'apprendimento approssimativo dell'albero;
- elaborazione parallela e distribuita degli alberi che lo rendono dieci volte più veloce delle altre soluzioni su singola macchina;
- calcoli out-of-core per consentire l'elaborazione di centinaia di milioni di esempi su un desktop;

Inoltre, utilizza una funzione obiettivo regolarizzata in modo da ridurre il rischio di sovradattamento del modello ai dati, cosa che non accade con il Gradient boosting. XGBoosting, ad oggi, è considerato il migliore predittore anche se desta delle perplessità relativamente alla capacità di prevedere con precisione nel medio termine (orizzonte temporale di 24 mesi) [57].

- *Macchina a vettori di supporto (SVM)*, è una tecnica di apprendimento automatico supervisionato che può essere utilizzata sia per la classificazione che per la regressione. Inizialmente prevede l'estrazione di un sottoinsieme dei dati di addestramento che ha la funzione di vettori di supporto. L'obiettivo che persegue è massimizzare il margine ovvero la distanza fra l'iperpiano di separazione (confine decisionale) ed i campioni di addestramento che sono più vicini a questo iperpiano (i vettori di supporto estratti). Come si può vedere nell'immagine al centro della Fig.11.

diversi sono gli iperpiani di separazione che possono essere scelti per separare gli elementi e viene scelto quello rappresentato nella terza immagine che massimizza la distanza con i campioni.

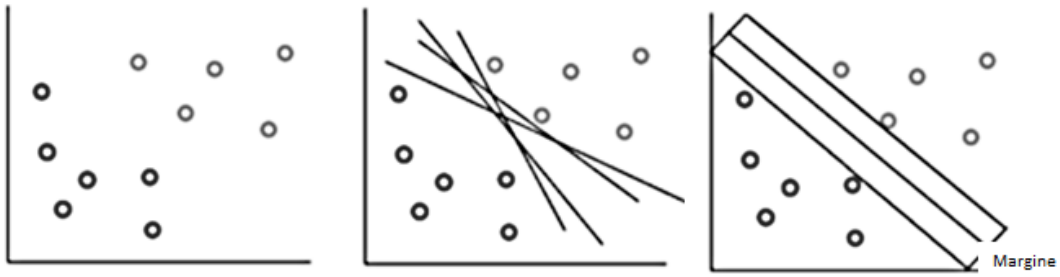

Fig.11 Esempio applicazione del metodo SVM e scelta dell'iperpiano [63]

Per le applicazioni più complesse, non lineari, in alcuni casi se si riuscisse a mappare i dati in dimensioni superiori questi potrebbero diventare linearmente separabili (Fig.12.).

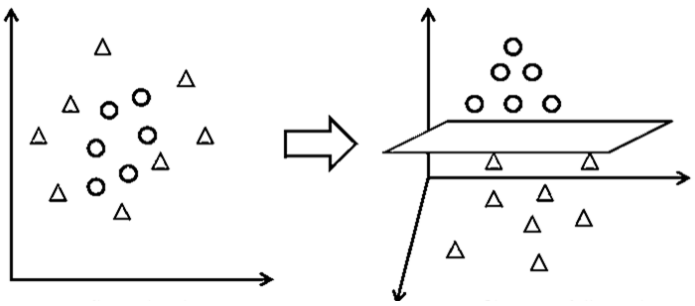

Fig.12. Esempio di applicazione del metodo SVM e scelta dell'iperpiano nel caso non lineare [64]

Con l'aumento del numero delle dimensioni i calcoli all'interno di quello spazio diventano più costosi. Tuttavia, il trucco del Kernel consente di operare nello spazio delle caratteristiche originali senza calcolare le coordinate dei dati in uno spazio dimensionale superiore ma calcolando i prodotti interni tra gli elementi di tutte le coppie di dati nello spazio.

I vantaggi dell'SVM sono una grande potenza ed avere confini decisionali con ampi margini porta ad un minor problema di overfitting. SVM è tra i migliori con dati limitati ma perde contro il Gradient boosting o il Random Forest quando sono disponibili set di dati di grandi dimensioni. Per quanto

riguarda i tempi di addestramento richiesti, è più lento rispetto agli alberi decisionali ed a Naive Bayes. SVM è una tecnica flessibile ed efficace in molti contesti ed ambiti, tra cui il riconoscimento facciale, classificazione del testo o delle immagini;

- *Classificazione Bayesiana,* è un approccio di classificazione basato sul teorema di Bayes in cui si predice la classe di una nuova istanza *T={a1,a2,..,an}*, selezionando la classe *"ci"* che massimizza la seguente formula:

$$P(c_i|T) = \frac{P(T, c_i)}{P(T)} = \frac{P(c_i) \cdot P(T|c_i)}{P(T)}$$

[65]

in cui le probabilità sono stimate con il set di addestramento. Dal momento in cui l'obiettivo è ordinare le classi per identificare quella che dà la probabilità maggiore, si può trascurare l'elemento a denominatore in quanto non influisce sull'ordine. La parte più difficile nella classificazione bayesiana è il calcolo della probabilità congiunta *"P (T, ci)"* che porta alla necessità di forti semplificazioni.

Una prima semplificazione è quella adottata dal classificatore *Naive Bayes* che assume l'indipendenza tra gli attributi data la classe *ci*. Per cui la probabilità *P (T, ci)* è calcolata con la seguente formula:

$$\begin{aligned} P(T, c_i) &= P(a_1, a_2, \ldots, a_n, c_i) \\ &\simeq P(c_i)P(a_1|c_i)P(a_2|c_i) \cdots P(a_n|c_i) \\ &= P(c_i) \prod_{j=1}^{n} P(a_j|c_i) \end{aligned}$$

[65]

in cui le probabilità degli attributi data la classe (termini della produttoria di destra), vengono calcolate:

- nel caso di attributi discreti, dalla frequenza relativa dell'attributo in quella classe rispetto a tutte le altre;
- nel caso continuo (assumendo che esse seguano una distribuzione Gaussiana) dalla media e varianza stimati dai valori del set di addestramento degli attributi della classe presa in considerazione *(ci)*.

Tuttavia, nella realtà l'ipotesi d'indipendenza tra gli attributi non è quasi mai verificata e anche se il classificatore Naive Bayes (che si basa su di essa) fornisce spesso lo stesso ottimi risultati, si sono sviluppati dei modelli alternativi che limitano l'uso di tale semplificazione.

Tra questi, vi sono le *Reti Bayesiane (BN)* che adottano assunzioni di indipendenza meno forti rispetto a quelle dei Naive Bayes, il che è possibile focalizzandosi su un sottoinsieme di dipendenze di ordine inferiore e trascurando quelle di ordine superiore. Ad esempio, in relazione alla figura sottostante (Fig.13.) l'interesse per la stipula dell'assicurazione è considerato dipendente dalla scelta di acquisto del prodotto A ma indipendente dall'età, dal reddito e dall'occupazione del cliente che lo ha comprato.

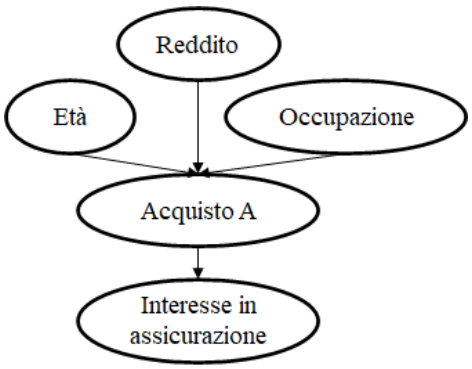

Fig.13.

Le Reti Bayesiane si basano su: grafi diretti aciclici (DAG) utilizzando nodi (che definiscono una variabile casuale discreta o continua), archi e tabelle di probabilità condizionale (CPT) [138]. Siccome questo approccio basato sulla Rete Bayesiana considera correlazioni statistiche tra gli eventi di base può essere particolarmente potente nella valutazione probabilistica del rischio multi-attributo e multi-pericolo. Inoltre, il teorema di Bayes facilita l'incorporazione di dati aggiuntivi, così le reti possono essere utilizzate per valutare le convinzioni sugli eventi quando nuove informazioni chiamate anche "prove" (provenienti da simulazioni empiriche, sperimentali o ad alta fedeltà) diventano disponibili (procedimento di "aggiornamento bayesiano") [143]; Laddove non sia semplice creare direttamente una rete bayesiana è possibile partire dalla creazione di un albero dei guasti e successivamente convertirlo in rete mediante un apposito algoritmo di mappatura [143].

- *Analisi del vicino più prossimo (K-Nearest Neighbour / K-NN)* è una tecnica di classificazione e regressione che appartiene ai metodi delle istanze, i quali memorizzano le istanze che fanno parte dell'insieme di addestramento e rimandano tutte le elaborazioni al momento in cui una nuova istanza deve essere classificata. L'algoritmo K-NN viene utilizzato per trovare i più vicini "K vicini" di un'istanza specifica all'interno di un insieme di istanze non strutturate. Nel caso della classificazione questa tecnica prevede la classe di appartenenza di un elemento associandolo alla classe più comune tra i suoi k elementi più vicini. Nel caso della regressione, all'elemento in esame viene assegnata la media dei valori dei "K vicini" più vicini. Quando gli oggetti da classificare sono complessi, non trattabili come un semplice insieme di attributi ma, ad esempio, sono disegni tecnici, le istanze vengono trasformate in descrizioni simboliche

come grafi e vengono immagazzinate e se si vuole classificare una nuova istanza, la si trasforma anch'essa in descrizione simbolica e si usano quelle più simili per determinare la classe (la somiglianza non è data da una semplice distanza, ma da altre proprietà come avere sotto grafi comuni).

Gli svantaggi dell'analisi del vicino più prossimo sono: gli attributi irrilevanti vengono pesati come gli altri, il costo computazionale è alto (in quanto durante l'uso richiede tecniche di indicizzazione sofisticate per trovare i possibili "vicini" senza dover cercare tutte le istanze) e la vulnerabilità al rumore (se ci fossero alcuni punti etichettati male nel set di dati iniziale, i nuovi punti vicini a questi sarebbero classificati erroneamente il che può essere pensato come una forma di overfitting). I vantaggi sono: l'alta parallelizzazione, la possibilità di essere accelerato e la robustezza. Inoltre, è una tecnica molto flessibile perché non presuppone che i dati si adattino a un modello specifico.

	Interpretabilità	Robustezza (dati incompleti)	Relazioni e dati complessi	Accuratezza	Velocità	Linearità	Scalabilità	Robustezza all'overfitting
DT	✓	✓	✗	✗	no se molti rami	✗	possibile	✗
Regressione lineare e logistica	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗
Reti neurali	✗	✓	✓	✓	sì per classifica zione	✗	✓	✗
RF	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗
GB, AdaBoost	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✗
XGBoost	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓
SVM	✗	✓	✓	✓	sì per classifica zione	✗	sì, ma peggiore di GB e RF	✓
Naive Bayes e BN	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✗
K-NN	✓	✓	✓	✗	✗	✗	possibile	✗

Di pari passo con l'evoluzione delle tecniche di analisi predittiva si sono sviluppati degli strumenti che ne favoriscono lo sviluppo e ne facilitano l'implementazione e l'utilizzo per gli utenti. Alcuni dei più comuni sono:

- *MATLAB* [66], offre apposite funzioni e Toolbox per la gestione di grandi quantità di dati e l'utilizzo del machine learning, delle reti neurali e della visione artificiale. Può effettuare analisi predittive con dati: di campo, ingegneristici, scientifici, aziendali e transazionali. Le analisi possono essere accompagnate dall'utilizzo di un altro strumento: Simulink, in cui possono essere simulati e modellati in un ambiente multi-dominio i comportamenti di tutte le parti di un sistema.

- *I prodotti Alteryx* [67], Alteryx è una società americana di software per computer che vengono utilizzati per l'analisi e la scienza dei dati.
- *IBM SPSS Modeler* [68] è un'applicazione software di data mining ed analisi del testo che viene utilizzata per costruire modelli predittivi e condurre altre attività analitiche. Ha un'interfaccia visiva che consente agli utenti di sfruttare algoritmi statistici e di data mining senza programmazione. Uno dei suoi obiettivi principali fin dall'inizio era eliminare la complessità non necessaria nelle trasformazioni dei dati e rendere i modelli predittivi complessi facili da usare. L'altra grande offerta di IBM è la linea *Watson* i cui strumenti si basano in gran parte su algoritmi iterativi di machine learning in grado di acquisire dati di training e trasformarli in modelli. Il codice può funzionare con numeri non elaborati, immagini o testo non strutturato.
- *Strumenti di AWS (Amazon Web Services)* [69], AWS offre il più vasto e completo set di servizi di machine learning, supporta l'infrastruttura cloud e dà accesso all'apprendimento automatico a tutti gli sviluppatori, data scientist e professionisti esperti.

Qualunque settore di mercato può sfruttare l'analisi predittiva per ridurre i rischi, ottimizzare le operazioni ed aumentare i ricavi. Alcune soluzioni e metodi di predizione specifici per tipologia di rischio sono riportati nel paragrafo successivo di approfondimento sulle singole classi di rischio (3.10.).

Si introduce uno strumento che è stato sviluppato da Steinbeis R-Tech e EU-VRi: il *Risk Radar* [55], per ispezionare agevolmente il materiale presente nel web ed identificare gli allarmi correlati al Covid-19 ma che potrebbe essere esteso per trovare applicazione in altri rischi emergenti. In esso, i segnali correlati ad una minaccia vengono identificati, aggregati, classificati e resi disponibili

tempestivamente per gli stakeholder. Il Risk Radar classifica il materiale di pubblico dominio sul web (articoli di notizie, post di blog, abstract di riviste scientifiche, ecc.) in base al potenziale di generare impatto. Nello specifico, considera i documenti in un determinato periodo di tempo e ne estrae le informazioni e le parole chiave per eseguire delle analisi per determinarne la pertinenza o l'importanza ed assegna il valore all'indice di centralità del documento calcolato in base alla frequenza dei termini e a come questi sono correlati tra loro. Lo strumento dà in output un radar ed una mappa di rete. Sul radar sono riportate le parole chiave e tanto più sono centrali tanto più sono "rilevanti". La mappa della rete invece contiene una breve descrizione dell'argomento correlato alle parole chiave più comuni e il nome degli articoli associati. Osservando diverse fonti (ad esempio: "scienza", "media" o "pubblico") il sistema identifica i temi di interesse nelle informazioni estratte e assegna loro i rispettivi punteggi di rischio secondo i criteri impostati (ad esempio: "contesto", ecc.). Il preallarme viene lanciato sulla base della relazione dei termini ricercati.

Per quanto concerne la previsione dell'impatto di un evento rischioso, una valutazione relativamente semplice può essere ottenuta partendo dallo strumento di *Stress Test Scenario*, che permette di simulare statisticamente i possibili scenari a cui può andare incontro un sistema se colpito da catastrofi. Questo strumento ha applicazioni multidisciplinari, ad esempio, può essere applicato in medicina per studiare il comportamento potenziale di un paziente o in meccanica per studiare quello di un elemento soggetto a sollecitazioni, ed è largamente utilizzato, infatti nelle pubblicazioni analizzate per la realizzazione di questa tesi è stato più volte citato. Per poterlo applicare, all'inizio è necessario definire le assunzioni di base e le variabili che influenzano il fenomeno inserite come dati di input che vanno poi correlate tra loro nel modo corretto. Una volta determinati gli scenari possibili, l'impatto può essere quantificato in termini economici. Analizzando ulteriormente la letteratura e ricercando gli strumenti messi a disposizione per la misurazione

delle previste perdite economiche dovute ai disastri, si trovano strumenti che applicano le metodologie Input-Output, econometriche e modelli di equilibrio generale. Uno strumento apposito che utilizza il metodo dello stress test scenario e prevede l'impatto economico di una crisi è il *PIL@Risk,* l'indice di perdita economica sviluppato dal Cambridge Centre for Risk Studies [45]. Il valore è ottenuto dalla combinazione della probabilità che una catastrofe si verifichi con le sue conseguenze dedotte da set di dati standardizzati e il giudizio di esperti. Viene analizzata l'economia di ogni città per settore, dimensione e demografia e viene stimato quanto della produzione del PIL andrebbe persa su un orizzonte temporale di tre anni se ogni città dovesse vivere scenari diversi di shock per le varie tipologie di minacce. Il *PIL@Risk,* considera le interdipendenze tra gli scenari degli eventi di più città in una regione e le conseguenze per altre città con cui hanno collegamenti commerciali o dipendenza economica. Questo indice, quindi, permette di quantificare l'impatto sul PIL delle crisi imprevedibili e di fornire un quadro che ne incorpora la probabilità di frequenza e gravità, senza prevedere il verificarsi specifico delle minacce. Nello specifico, si concretizza in un insieme di oltre 12.000 scenari probabilistici catastrofici che rappresentano 22 minacce con il potenziale di causare interruzioni all'attività economica in 279 delle città più importanti del mondo, in totale responsabili del 41% del PIL mondiale. Inoltre, l'impatto si può estendere e, a questa valutazione della perdita di produzione, si possono aggiungere altri tipi di considerazioni di modellazione degli eventi (ad esempio i casi di utilizzo assicurativo considerando le valutazioni delle perdite di sottoscrizione assicurativa, derivate in termini di valori di indice per diverse linee di esposizione). L'indice a livello globale è aumentato del 5.59% tra il 2019 e il 2018, di cui il 4,0% proviene da un aumento del PIL, lo 0,2% dalle modifiche al tasso di livello di recupero delle città mentre l'1,3% esclusivamente dai cambiamenti relativi al livello di rischio. Tendenza che sottolinea quanto i sistemi economici ogni anno siano maggiormente esposti al rischio di catastrofi. Inoltre, mediante il PIL@Risk è possibile identificare su una mappa globale dove

è più probabile che si registrino le grandi perdite economiche e quindi i maggiori impatti sull'economia. (Fig.14.)

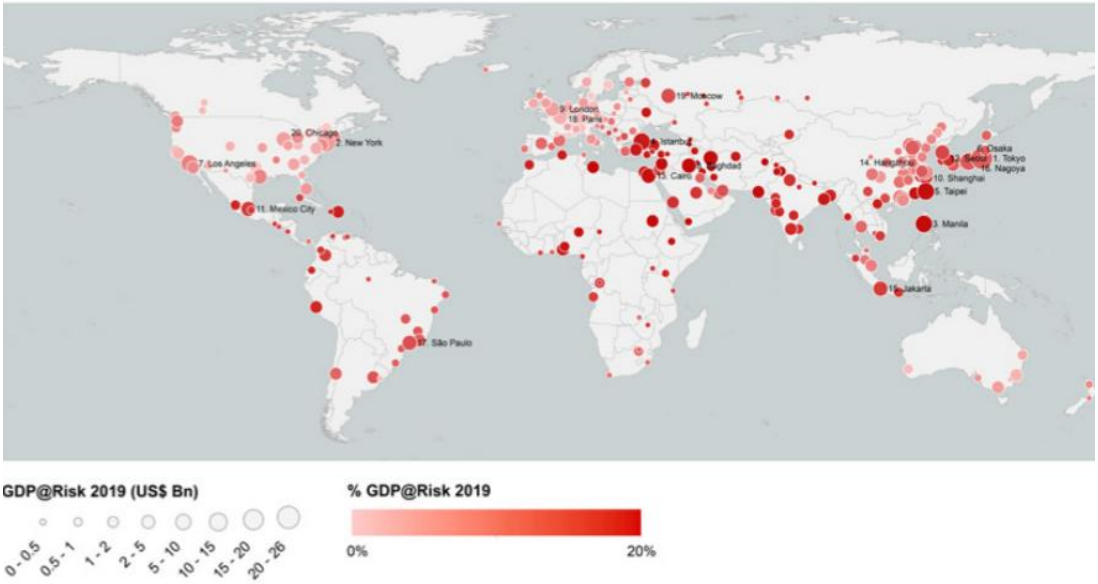

Fig.14. Mappa di rappresentazione del livello di PIL@Risk nei paesi del mondo [45].

Inoltre, un ulteriore strumento che fa utilizzo dello Stress Test Scenario e permette di quantificare l'impatto economico di uno shock è il software del modello economico globale di *Oxford Economics.* Nello specifico, tale modello macroeconomico consiste di oltre 26.500 equazioni interconnesse basate su correlazioni storiche e teoria economica le cui previsioni multivariate sono prodotte per molte economie. Il modello può essere personalizzato e consente di creare rapidamente i propri scenari, esportare set di dati e visualizzare gli output in dashboard, mappe termiche o grafici [56].

Infine, esistono numerose piattaforme di modellazione dell'impatto multirischio come HAZUS [70], CAPRA [71], RISKSCAPE [72] e CLIMADA [73]. Quest'ultima è stata sviluppata dal centro di ricerca ETH di Zurigo [137], ha portata globale ed è open source. Nello specifico, tratta i rischi climatici e meteorologici e integra tre fattori: pericolo, esposizione e vulnerabilità con i quali calcola valuta il rischio e quantifica l'impatto socioeconomico. Utilizza tecniche

di modellazione del rischio probabilistico all'avanguardia, integra diversi scenari di sviluppo economico e di impatto climatico combinati con un approccio costi-benefici per valutare un insieme completo di misure di adattamento (includono ad esempio: difese degli edifici, una migliore pianificazione dello spazio, approcci basati sull'ecosistema, regolamenti edilizi e trasferimento del rischio (assicurazione) contro alcuni degli eventi meteorologici più estremi).

Nella letteratura si discute se le catastrofi portino a guadagni o perdite a lungo termine, Albala-Bertrand (1993) [74] predicono guadagni, in quanto, vedono nelle attività di ricostruzione in seguito ad una catastrofe l'occasione di realizzare un sistema tecnologicamente più avanzato. Anche altri articoli concordano su questa prospettiva. Tuttavia, secondo Camacho C. e Sun Y. (2019) [75] le conclusioni sono incerte e dipende molto da come è finanziata la ricostruzione, se ad esempio i soldi impiegati provenissero da tagli ai fondi per le attività di ricerca e sviluppo potrebbe essere un problema e portare a perdite economiche nel lungo termine. Pertanto, quando si considera una funzione di danno intertemporale il periodo di recupero può a uno dei seguenti tre possibili scenari: perdite o guadagni nel lungo periodo o ripresa. Da queste analisi e in generale nella letteratura [47] si evince che solitamente nel breve termine, subito dopo l'impatto, la produzione diminuisce a causa delle ridotte capacità di produzione e degli effetti a cascata, nel frattempo, la disoccupazione e il debito pubblico aumentano. Nel medio termine invece iniziano le attività di ricostruzione che spingono l'economia verso una ripresa che può compensare più o meno le perdite e portare a effetti neutri o positivi oppure alla riduzione della crescita del PIL e/o aumento del debito pubblico e/o ripresa solo per alcuni livelli (ad esempio, di solito accade che il settore immobiliare ha una crescita notevolmente lenta mentre il settore delle costruzioni veloce). Infine, Hallegate e Ghil (2008) [78], hanno dimostrato che nel caso delle catastrofi naturali si ha un effetto più profondo sulle economie quando queste sono in forte espansione poiché tutte le risorse sono completamente

sfruttate mentre se al contrario è in recessione, si possono riallocare più facilmente le risorse non sfruttate.

3.5. Preparazione al rischio e resilienza delle comunità

Nella prima parte di questo paragrafo è introdotto il concetto di resilienza e sono citati alcuni studi che dimostrano quanto sia rilevante per i governi e le comunità includerla nelle attività di gestione e di pianificazione. Pertanto, sono poi elencati i principi della progettazione resiliente di cui si sottolinea la natura multidisciplinare. Successivamente, sono riportate delle linee guida che i governi dovrebbero seguire ed infine, è presentato un sottoparagrafo dedicato al framework proposto dal progetto Smart Resilience, il quale, rappresenta un insieme di strumenti utili per calcolare il livello di resilienza di un'infrastruttura e per monitorarne la variazione prima e dopo una crisi.

Il fatto che ancora oggi si verifichino crisi e disastri capaci di mettere a dura prova persone ed economie è indiscusso e basta osservare i dati del WHO relativamente al numero di morti ogni anno a causa dei cambiamenti climatici (circa 150.000 [77] e stima di 250.000 [78] addizionali tra il 2030 e 2050) oppure il numero di decessi e contagi dovuti alla diffusione del COVID-19 (rispettivamente 2,3 milioni e 105 milioni [79]). Tali evidenze portano l'attenzione verso la necessità di implementare un approccio resiliente come attività di supplemento ma anche, talvolta, come alternativa alla gestione del rischio classica. Infatti, molte organizzazioni chiedono ai governi e all'industria delle strategie basate sulla resilienza soprattutto per essere preparati davanti a quegli eventi che più creano danni, ovvero, quelli imprevisti e improvvisi. Con il termine "resilienza" in questo contesto si intende la capacità delle infrastrutture chiave di una società di ridurre

l'impatto di eventi di disturbo ed il tempo di ripristino. L'International Risk Governance Council [80] descrive le strategie di resilienza come necessarie quando c'è incertezza sugli impatti e sulle conseguenze dei rischi. Uno studio condotto al Cambridge Center for Risk Studies [45] sulla base di un'analisi dell'Indice PIL@Risk globale ha dimostrato come parte dei rischi per le società ed i sistemi di infrastrutture può essere mitigata da miglioramenti nella resilienza ed investimenti nella gestione del rischio. Quest'indice misura e considera il tasso di recupero di ogni città ed economia il quale, per definizione, è funzione dalla velocità e dell'entità con cui sono ricostruite le aziende e le case, riparate le infrastrutture danneggiate, riconquistati i consumatori e la fiducia del mercato ed avviate le attività commerciali. Se tutti i tassi di recupero aumentassero al massimo livello, il PIL@Risk globale si ridurrebbe del 14%. Da qui, consegue l'evidente importanza di adottare un atteggiamento resiliente.

In precedenza, agli ingegneri era richiesto di operare tenendo in considerazione le capacità massime e di ottimizzare secondo logiche costi – benefici, oggi si aggiunge la richiesta di considerare i principi della *progettazione resiliente* [81] di cui, i principali sono:

- Integrare considerazioni di design fisico e sociale;
- Quantificare ed incorporare l'incertezza;
- Utilizzare il pensiero e la pianificazione a livello di sistema per la diversità e la ridondanza (ridondanza significa che vengono adottati mezzi paralleli ed indipendenti);
- Includere esplicitamente opzioni ed adattabilità nelle decisioni di progettazione;
- Sfruttare alternative non strutturali e basate sulla natura.

L’inclusione di opzioni e dell’adattabilità consente di avere flessibilità per poter far fronte a futuri incerti. Gli interventi non strutturali e la progettazione basata sulla natura possono includere: la conservazione delle zone umide, lo sviluppo di dighe di vegetazione sulle dune, l'introduzione di acquacoltura, il rimboschimento e la creazione di parchi lungo i corsi d'acqua, tutte misure che riducono le conseguenze e la probabilità delle catastrofi naturali. Per includere considerazioni di tipo sociali è necessario che la comunità ingegneristica si doti di altre conoscenze esterne ai propri studi, il che è perfettamente in linea con quanto detto precedentemente relativamente alla natura multidisciplinare della gestione del rischio e all’importanza sempre maggiore data alle scienze sociali [13].

Nella pianificazione si devono considerare: la comunità, i valori, l'equità e le responsabilità sociali. Gli ingegneri devono essere consapevoli che per una resilienza di successo oltre ai sistemi fisici anche gli individui e le comunità devono poter far fronte ai rischi. La popolazione gioca un ruolo importante per cui, per gli stati, è necessario coinvolgerla, investire per fare sì che possa essere adeguatamente preparata ed analizzare e conoscere i fattori sociali che ne mediano la risposta. I ricercatori del Wharton Risk Management and Decision Processes Center hanno condotto uno studio sulla resilienza con cui hanno potuto dimostrare l’importanza dell’azione della popolazione [82]. Inizialmente hanno distinto due tipi di famiglie: quelle con comportamenti razionali e quelle con comportamenti limitatamente razionali. Le prime sono pienamente informate sui rischi che corrono ed intraprendono decisioni per ridurre la loro vulnerabilità, al contrario, le seconde generalmente li sottovalutano. Successivamente, hanno differenziato due atteggiamenti del governo: proattivo e reattivo. Quest’ultimi basano le proprie decisioni sull' ABC (activity based costing) ma la tempistica è diversa. I governi proattivi investono nell’aumentare la protezione per ridurre il potenziale di rischio

[13] Vedi paragrafi 2.1.e 3.2.3

in cicli regolari, mentre quelli reattivi decidono di agire solo dopo che l'evento dannoso si è verificato. Avendo analizzato gli effetti delle varie combinazioni "comportamento della famiglia" - "comportamento dello stato", gli studiosi hanno concluso che l'adattamento dinamico delle famiglie e dei governi può portare a livelli significativamente diversi di rischio residuo. In particolare, hanno affermato che dinanzi a grandi catastrofi i governi proattivi sono responsabili di una quota importante della riduzione del rischio rispetto alle famiglie, mentre la quota della riduzione del rischio ottenuta insieme dalle famiglie razionali e limitatamente razionali, supera largamente la quota dei governi reattivi. La realtà però rivela che nella maggior parte dei casi i governi agiscono in modo reattivo e le famiglie si comportano in modo limitatamente razionale sottostimando il rischio. Le cause di questo comportamento e della conseguente bassa preparazione possono essere molteplici. Uno studio condotto dal Cambridge Center for Risk Studies [83], volto a studiare l'atteggiamento delle comunità dinanzi alle catastrofi, ha dimostrato che la preparazione è correlata positivamente con la percezione del rischio. In letteratura vi è consenso sul fatto che quest'ultima a sua volta è principalmente influenzata: dalle esperienze fatte, dai fattori demografici (le persone anziane hanno un livello più elevato di percezione del rischio e quindi di preparazione), dall'atteggiamento verso il rischio della società civile di cui si fa parte e dalle azioni delle istituzioni pubbliche. Inoltre, è incidente quando è avvenuto l'evento di cui si ha esperienza poiché subito dopo un evento disastroso la percezione del rischio è elevata, tanto da sovrastimarla mentre negli anni successivi, a distanza di sei o sette anni dall'accaduto diminuisce in modo significativo. In aggiunta, dipende da come si percepiscono i cicli della minaccia o dalla percezione della propria capacità di impegnarsi in azioni di protezione efficaci. Ciò nonostante, i fattori di attivazione più importanti sono i costi di attuazione e l'efficacia delle misure protettive. Grothmann T. e Reusswig F. (2006) [84] hanno dimostrato che per motivare la popolazione ad agire è essenziale che lo stato comunichi l'efficacia ed il costo delle misure cautelari

private. La comunicazione in questo ruolo cruciale deve essere aperta, trasparente e inclusiva. Il problema è che molti governi peccano nella capacità di comunicare, sia ex ante che durante la crisi. Dallo studio Mahdavian et al., (2020) [83] di casi reali di popolazioni colpite da eventi avversi è emerso che, secondo gli intervistati, prima della crisi la popolazione non era a conoscenza del reale impatto che la minaccia potesse avere e che la prima fonte di informazione durante l'evento è stata il passaparola e l'osservazione personale piuttosto che annunci di sirene o altoparlanti. Diventa così chiaro perché la comunicazione oggi, è studiata da molti enti di ricerca, tra cui quelli che si occupano di rischio. Infatti, dall'analisi presentata all'inizio di questo elaborato [14], emerge che il 20% delle Istituzioni si occupa di comunicazione [15]. Nel caso specifico di uno stato, ci sono diversi fattori che possono impattare sull'efficacia della comunicazione (in tema di preparazione e reazione alle crisi), tra cui: la fiducia della popolazione nei confronti dei capi di governo. È stato riscontrato [83] che le persone con scarsa fiducia nel governo hanno meno probabilità di seguire un ordine del governo come quello di evacuazione immediata o come stiamo sperimentando in questi giorni di pandemia di indossare le mascherine o rispettare il distanziamento. In tutta Europa, la fiducia nelle istituzioni politiche è diminuita dal 2009.

I ricercatori del Dipartimento di Management della London School of Economics and Political Science hanno condotto un'analisi sulla resilienza in Svezia [85] che hanno poi integrato con informazioni chiave di altri paesi e che è quindi generalizzabile e valida per tutti gli stati. Ciò che è emerso è che attualmente nei governi non esiste un approccio globale a lungo termine alla resilienza e si registrano importanti carenze. Vi è la mancanza di sostegno nazionale, di un mandato chiaro e budget dedicato, vi è poca integrazione a tutti i livelli e poca cooperazione intersettoriale. Si devono migliorare le capacità regionali di fornire

[14] Vedi paragrafo 2.1.1.
[15] Vedi appendice A 1,7; A 1.8; A 1.9

una guida a livello locale per tradurre le intenzioni della strategia in politiche e pratiche fornendo maggiore supporto in termini di conoscenza, capacità e risorse finanziarie. Vi è poi scarso controllo e mancanza di sistematicità nella raccolta e nel monitoraggio completo dei dati e dei progressi verso la resilienza. Questo è un problema, poiché conoscere come varia la resilienza all'indomani di una crisi è fondamentale per poter fornire risposte efficaci. Oggi, si fa forte affidamento nelle indagini faccia a faccia con le famiglie colpite, il che è costoso, lungo e difficile da coordinare. Di conseguenza, vengono effettuate una tantum e/o combinando più sondaggi condotti a distanza di anni. I costi associati alla gestione dei rischi sono in aumento a livello locale, regionale e nazionale, a testimonianza del fatto che i diversi settori responsabili della resilienza non stanno lavorando bene insieme.

Valutazione della resilienza

La valutazione del livello di resilienza può essere effettuata tramite la dashboard fornita sul sito del progetto *Smart Resilience* [86] il quale è condotto da più enti di ricerca, tra cui l' European Risk & Resilience Institute. Attraverso tale strumento, un utente può creare una Dynamic Checklist (DCL) ovvero una lista dei problemi (ad esempio interruzione del business) e degli indicatori (livello di qualifica del personale, livello di manutenzione, ecc.) che sono rilevanti dal punto di vista di una particolare infrastruttura. La DCL ha una struttura a piramide e prevede il livello core in cui sono rappresentati gli indicatori suggeriti per tutte le infrastrutture in generale, il livello recommended degli indicatori per il tipo di infrastruttura ed infine quello user relativo alla specifica infrastruttura. Dopo che è stata compilata, l'utente deve inserire i valori per tutti gli indicatori selezionati (possono essere risposte sì o no, percentuali, numeri, ecc. che vengono convertiti in un punteggio da 0 a 5 [139]) e deve definire il valore minimo, massimo e target per ciascuno. Il sito fornirà in automatico un “Resilience Level” (un numero od

indicatore composito) che può essere sfruttato per il confronto di un'infrastruttura rispetto ad altre e/o il monitoraggio dei cambiamenti e delle tendenze della resilienza nel tempo (un modo possibile per farlo è selezionare alcuni indicatori ed osservarne i valori con frequenza, "monitoraggio a breve termine"). I dati generati all'interno del progetto Smart Resilience, ovvero la raccolta strutturata di checklist dinamiche di problemi ed indicatori, possono anche essere sfruttati utilizzando l'apprendimento automatico, creando un sistema di raccomandazioni basato su filtraggio collaborativo che consente in una certa misura di formulare automaticamente la valutazione delle liste di controllo per le infrastrutture. Le analisi possono essere effettuate attraverso un'interfaccia web che fornisce l'accesso alle librerie (DLL) che eseguono i calcoli. Queste DLL possono, ad esempio, essere costituite da soluzioni MATLAB distribuite che impiegano determinate funzioni per il calcolano degli indicatori in base ai dati di input. Per l'utente, il tutto è svolto in background ed i risultati che riceve sono valutazioni (di funzionalità o resilienza che includono anche indicatori convenzionali) o benchmark. Questi metodi possono essere integrati con altri standard di analisi dei dati, compresa l'analisi delle serie temporali, modelli di regressione oppure con altri approcci di apprendimento automatico.

Per modellare la resilienza di un'infrastruttura critica, nello Smart Resilience project si utilizzano i seguenti macro indicatori: robustezza (capacità di sopportare gli effetti di una crisi e quindi assorbirne l'impatto), tempo di interruzione, tempo di assorbimento, tempo di inattività (il livello di funzionalità dell'infrastruttura rimane al di sotto del livello di soglia di operatività), tempo di recupero (impiegato per ripristinare il livello di funzionalità iniziale), tasso di recupero, perdita di funzionalità e miglioramento / adattamento / trasformazione.

Infine, per valutare l'impatto di una crisi sulla resilienza si possono stimare ed osservare i cambiamenti dei livelli di funzionalità critica: prima, durante e dopo.

In riferimento allo studio Auerkari P. et al., (2018) [136] si riassume quanto di seguito riportato. Una funzionalità critica di un'infrastruttura è il "core", ad esempio la produzione, ed è tale per cui se persa ha un impatto devastante sul funzionamento dell'intero sistema. Le funzionalità critiche per una società si possono principalmente identificare nei settori: energia, industria nucleare, ICT, acqua, cibo, salute, finanza, trasporto, industria chimica, spaziale ed impianti industriali. Queste possono essere identificate e trattate dagli analisti od i proprietari delle infrastrutture, anche se può essere difficile farlo con precisione. Per capire quale funzionalità è critica per la società si può guardare alle prestazioni del sistema come la capacità di raggiungimento degli obiettivi, invece nel caso operativo si possono definire le operazioni critiche per la produzione di un prodotto chiave o per l'erogazione di un servizio. La resilienza di un'infrastruttura è inversamente proporzionale alla perdita di funzionalità critiche, ovvero: minore è la funzionalità critica che si perde, più resiliente è l'infrastruttura. Ogni funzionalità critica deve essere trattata separatamente, fornendo curve di resilienza separate. Il concetto di curva di resilienza è stato ampiamente utilizzato per descrivere come cambia la resilienza di un sistema se soggetto ad un evento dirompente. Questa curva è derivata dalle curve di livello di funzionalità in cui si rappresenta la funzione critica nel tempo prima, durante e dopo la crisi nello specifico scenario. Ogni scenario di interruzione è caratterizzato da una data gravità e tempo di accadimento e diversi scenari richiedono diverso supporto tecnico, organizzativo e sociale. Per tracciare i livelli della funzione, rappresentata nel grafico Fig.15. si può partire dagli FE, Elementi di funzionalità in cui un livello di funzionalità può essere scomposto (ad esempio: performance della produzione). Tali FE sono allo stesso livello dei servizi o dei prodotti chiave. Gli FE possono essere misurati utilizzando indicatori di funzionalità ("FI" ad esempio: quantità prodotte giornaliere). L'utente deve assegnare i valori per gli FI e per il massimo, il minimo e l'obiettivo, sulla cui base la dashboard Smart Resilience calcolerà il punteggio compreso tra 0 e 100 per FL.

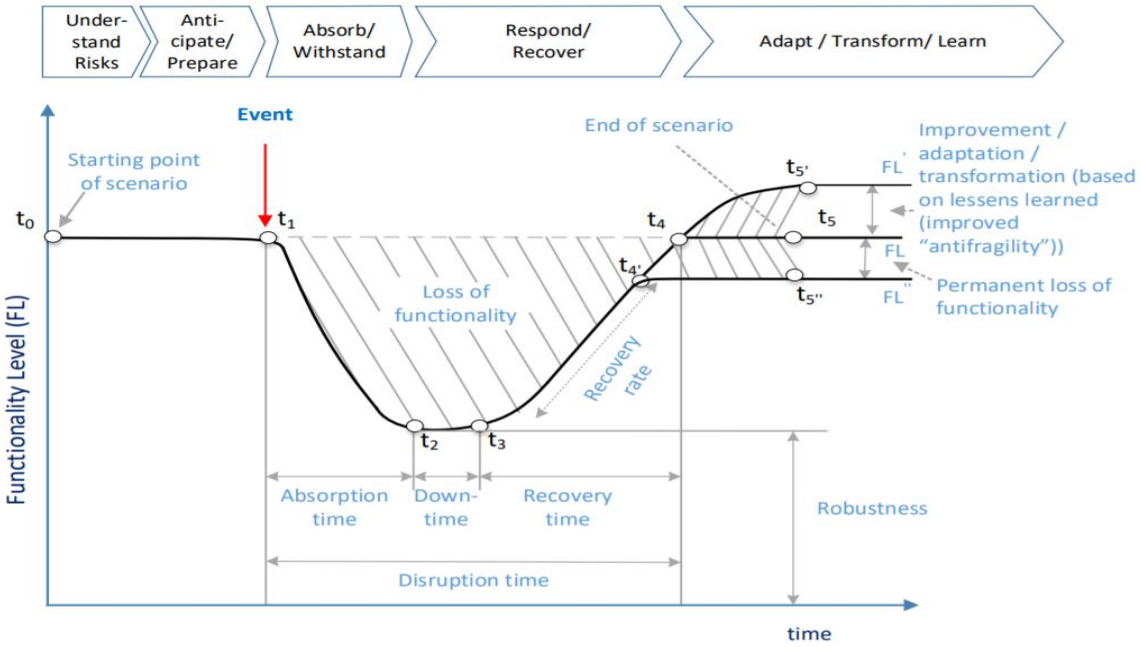

Fig.15. Livello funzionale per un dato scenario nel tempo [50]

La metodologia di valutazione FL può essere ulteriormente usata per:

- Confrontare il livello di funzionalità (curva FL-t) con i criteri dello stress test. I criteri possono essere correlati al livello di funzionalità, al tempo di recupero ed alla perdita cumulativa di funzionalità e l'utente deve decidere le soglie che ne rappresentano i valori non accettabili. Lo stress test viene utilizzato per verificare se, in una data situazione di minaccia, la struttura è o sarà resiliente sufficientemente per poter continuare a funzionare entro i limiti prescritti.
- Analisi comparativa ovvero il confronto delle funzionalità di diversi sistemi critici simili. Questo potrebbe aiutare a comprendere le migliori pratiche intraprese da un'infrastruttura e come un'altra può migliorare ed investire per garantire maggiore continuità aziendale, resilienza, ecc.
- Prevedere il comportamento delle infrastrutture critiche. La misurazione della funzionalità nel tempo può anche aiutare a prevedere il comportamento.

3.6. Preparazione al rischio e resilienza delle aziende

In questo paragrafo sono descritti i rischi che un'azienda deve fronteggiare e sono elencate alcune linee guida per una gestione resiliente. Alla fine, è riportato il modello di gestione adottato da Ericsson riconosciuto per il suo successo in tema di prevenzione e gestione del rischio che potrebbe essere seguito come esempio dalle aziende.

I principali problemi aziendali possono essere correlati a:

- Mancanze nella gestione (non qualificata o strettamente focalizzata)
- Risposta lenta al cambiamento per cui è noto che una rapida crescita di un'impresa la renderà ingombrante a causa delle lente reazioni alle nuove circostanze. La gestione è focalizzata sul successo del passato e trascura le carenze gradualmente emergenti che portano alla diminuzione della qualità del prodotto, all'obsolescenza e al gap con la concorrenza.
- Sistema informativo insufficiente e fallimento della comunicazione .

I rischi specifici in cui può incorrere un'azienda sono: economici interni ed esterni, relativi alla fornitura ed al cliente, di produzione, tecnici e tecnologici, relativi alle informazioni, sociali o professionali, di mercato, politici e legislativi. Per poterli affrontare ed essere preparata un'azienda dovrebbe seguire i seguenti punti interconnessi:

- Esplorare il sistema in cui opera, definire i propri confini e posizione in un ambiente dinamico;

- Sviluppare scenari considerando le transizioni in corso e quelle potenziali future;
- Determinare gli obiettivi ed il livello di tollerabilità per il rischio e l'incertezza;
- Co-sviluppare strategie di gestione per affrontare ogni scenario e i rischi sistemici che influenzano o possono influenzare l'organizzazione;
- Decidere, testare ed implementare le strategie;
- Monitorare, imparare, rivedere ed adattare le strategie;
- Istituire un'apposita squadra di gestione delle interruzioni, una task force che integri membri di diverse funzioni con una struttura e ruoli organizzativi chiari e che può essere attivata in solo pochi minuti, capace di riconoscere i rischi e di avviare una risposta.

Inoltre, è fondamentale che vengano coinvolti gli stakeholders per evitare ambiguità e conflitti. Nello specifico è bene:

- Fornire agli stakeholders informazioni corrette ed accurate per fare sì che siano consapevoli dei rischi e dei benefici associati a tecnologie, prodotti, attività o situazioni dell'azienda;
- Valutare le loro opinioni e preferenze in merito ai rischi così che queste informazioni possano essere incorporate nel processo decisionale;
- Creare le condizioni per un consenso informato dinnanzi ad un potenziale cambiamento di comportamento ed assicurarsi di avere un pubblico di fiducia nelle decisioni;

Infine, le aziende potrebbero seguire e trarre esempio dal modello di preparazione e gestione del rischio di Ericsson (descritto in un articolo di Norrman Andreas e

Wieland Andreas (2020) [87]). Quest'ultimo utilizza e sviluppa strumenti e modelli come: griglie di responsabilità e mappe della struttura, diagrammi e matrici di valutazione del rischio e della relativa gestione, schemi per il calcolo dei valori dell'interruzione dell'attività (BIV) e dei tempi di recupero aziendale (BRT), piani di emergenza, task force, "toolbox" in Intranet per lo sviluppo di piani di emergenza, linee guida per i fornitori implementate in accordi quadro e molti altri. Ha creato nei propri stabilimenti una stanza ufficio a prova di crisi utilizzando ad esempio, generatori diesel come fonti di alimentazione di riserva ed accesso al satellite di back up per le comunicazioni. Per tutte le categorie di approvvigionamento, l'azienda prevede che siano eseguite revisioni dei rischi molto dettagliate su base trimestrale e poi semestrale. Inoltre, Ericsson mappa e monitora tutti i siti dei fornitori in modo più formale tanto che ha sviluppato uno strumento di rilevamento noto come Ericsson Blue che facilita il confronto delle prestazioni di gestione del rischio per i diversi impianti interni e consente di classificare i siti. Le nuove funzionalità IS hanno consentito una transizione da una visualizzazione delle pratiche piuttosto manuale a una più automatizzata e sofisticata permettendo lo sviluppo di Sites@Risk, uno strumento online creato internamente nel 2008 che combina la geolocalizzazione utilizzando Google Earth con il database dei rischi di Sourcing (inclusi i dati aggiornati annualmente sui componenti, siti produttivi e fornitori). Inserendo la posizione di un eventuale incidente, Sites@Risk produce una mappa visiva in pochi minuti identificando tutti gli stabilimenti e le sedi permettendo così di conoscere il corrispondente impatto sui prodotti finiti. In aggiunta, altre strategie introdotte dall'azienda sono: evitare l'approvvigionamento di componenti da un unico paese in favore della molteplicità, introdurre secondi siti di produzione, investire in duplicati degli strumenti di produzione critici necessari, chiedere ai fornitori di costruire buffer extra e passare dall'essere principalmente reattivi a più proattivi. All'inizio del 2011 Ericsson per la prevenzione proattiva del rischio, ha riportato quattro obiettivi:

- tutti i rischi dovrebbero essere conosciuti e compresi;
- la base di fornitori dovrebbe mitigare il rischio in modo proattivo;
- soluzioni alternative dovrebbero essere sempre disponibili;
- i rischi dovrebbero essere considerati in tutte le azioni e decisioni;

Oggi Ericsson è tra le tante aziende che migliorano le proprie capacità tecniche legate all'utilizzo dei Big Data attraverso l'implementazione di nuovi strumenti di analytics e lavora sempre più con il process mining.

3.7. Italia: Gestione delle crisi e Recovery Plan

In questo paragrafo si esamina nel dettaglio come l'Italia gestisce le emergenze e le crisi dovute ai rischi: sismici, vulcanici, meteorologici, idrogeologici, ambientali, sanitari, di maremoti, di incendi, nucleari ed industriali. In tali circostanze risulta centrale il ruolo del *Servizio Nazionale della Protezione Civile* [125].

In Italia le attività di previsione, prevenzione e mitigazione dei rischi sismici, vulcanici, meteorologici, idrogeologici, ambientali, sanitari, di maremoti, di incendi, nucleari ed industriali e le attività di gestione post-crisi sono affidate al *Servizio Nazionale di Protezione Civile*. Tale ente ha come componenti le amministrazioni dello Stato, le regioni, le province, i comuni e le comunità montane e vi concorrono gli enti pubblici e privati, gli istituti ed i gruppi di ricerca scientifica con finalità di protezione civile. Le strutture operative del Servizio Nazionale sono: il Corpo nazionale dei vigili del fuoco, le Forze armate, le Forze di polizia, il Corpo forestale dello Stato, i Servizi tecnici nazionali, i gruppi nazionali di ricerca scientifica, l'Istituto nazionale di geofisica ed altre istituzioni di ricerca, la Croce

Rossa italiana, le strutture del Servizio sanitario nazionale, le organizzazioni di volontariato e il Corpo nazionale soccorso alpino-CNSA (CAI).

Il sistema di regolazione ed intervento adottato dalla Protezione Civile si fonda su piani e norme che vengono via via aggiornati nel tempo. Alla base vi sono i *Programmi di previsione e prevenzione*, definiti in funzione delle linee guida del Dipartimento della Protezione Civile, in cui si individuano le priorità di intervento ed i tempi con cui attuare le azioni sulla base della pericolosità, della vulnerabilità del territorio e della disponibilità finanziaria. A livello locale vi sono i *Piani di Protezione Civile*, in cui è esplicitato l'insieme delle procedure operative d'intervento per fronteggiare una calamità attesa in un determinato territorio e sulla cui base le autorità potranno predisporre e coordinare gli interventi di soccorso. La struttura di un piano prevede tre parti fondamentali: una che raccoglie tutte le informazioni sulle caratteristiche e sulla struttura del territorio, una che stabilisce le competenze degli operatori e gli obiettivi da conseguire per rispondere ad una situazione d'emergenza e l'ultima che assegna le responsabilità decisionali ai livelli di comando e controllo, le risorse in maniera razionale e definisce un sistema di comunicazione che consenta uno scambio costante di informazioni. Per il dimensionamento delle risorse da introdurre, si utilizzano degli scenari di danno che possono fornire informazioni specifiche come la localizzazione e l'estensione dell'area maggiormente colpita, la funzionalità delle reti dei trasporti, delle vie di comunicazione e delle linee di distribuzione, oltre che le perdite attese in termini di vite umane, feriti, senzatetto, edifici crollati e danneggiati ed il corrispondente danno economico.

Quando un evento colpisce un territorio, per identificare più facilmente quale componente della protezione civile deve mobilitarsi per prima sono stati classificati gli eventi secondo estensione e gravità in tre tipi:

- *"A"*: eventi naturali, connessi con l'attività dell'uomo, su cui possono intervenire singoli enti ed amministrazioni in via ordinaria. I relativi piani di emergenza sono redatti dai Comuni;
- *"B"*: eventi naturali, connessi con l'attività dell'uomo, che comportano l'intervento coordinato di più enti ed amministrazioni in via ordinaria. I relativi piani di emergenza sono redatti dalle Regioni;
- *"C"*: calamità naturali o connesse con l'attività dell'uomo che in ragione della loro intensità ed estensione devono, con immediatezza d'intervento, essere fronteggiate con mezzi e poteri straordinari da impiegare durante limitati e predefiniti periodi di tempo. I relativi piani di emergenza sono redatti dal Dipartimento di Protezione Civile;

Il primo organo ad entrare in azione è la sala operativa del Dipartimento di Protezione Civile, denominata "Sistema" che è in funzione 24 ore su 24 ed ha il compito di raccogliere, verificare e diffondere le informazioni alle componenti ed alle strutture operative, sia a livello centrale che locale e quando si verifica un evento avverso valuta se le risorse locali siano sufficienti a farvi fronte. Nel caso in cui bastino le sole risorse locali si è dinnanzi ad un evento di tipo "A" in cui interviene il Sindaco (Autorità di protezione civile nell'ambito del Servizio Nazionale) che ha il compito di assicurare i primi soccorsi alla popolazione coordinando le strutture operative locali sulla base del piano comunale di emergenza. Se invece si tratta di un evento di tipo "B" i mezzi e le risorse a disposizione del Comune non sono sufficienti a fronteggiare l'emergenza così intervengono la Provincia, la Prefettura e la Regione, che attivano le risorse disponibili sui territori di propria competenza. Nelle situazioni più gravi, eventi di tipo "C", su richiesta del Governo regionale, subentra il livello nazionale, con la dichiarazione dello stato di emergenza per cui il coordinamento degli interventi viene assunto direttamente dal Presidente del Consiglio dei ministri. Una volta terminata la fase di prima emergenza inizia quella di recupero per la cui gestione si dispone di meno dati certi. Infatti, il Codice di Protezione Civile indica le

procedure da attuare e le responsabilità operative per la gestione immediata delle emergenze mentre per le ricostruzioni, le norme non sono codificate in un atto unico e le decisioni sulla governance e sulla gestione dei processi sono lasciate al Governo e al Parlamento che ogni volta vengono riscritti ex novo; Non esistono leggi che prevedano ex-ante in termini certi, costanti e chiari, quali strumenti a sostegno della popolazione sono previsti nel medio-lungo termine dopo una catastrofe. Nella ricostruzione dopo un evento di tipo "C", il Dipartimento della Protezione Civile ha la funzione di coordinamento per favorire il ritorno alle normali condizioni di vita per cui sotto le ordinanze del Presidente del Consiglio dei ministri, vengono individuate le iniziative, i fondi ed i responsabili della gestione del post-emergenza, come Commissari delegati o Soggetti attuatori.

3.8. Unione Europea: Gestione delle crisi e Recovery Plan

In questo paragrafo è delineato il ruolo dell'UE nella gestione delle crisi, come supporto ai paesi sia dentro che fuori l'Unione. Nella prima parte vengono introdotti gli strumenti che l'UE, tramite l' *ERCC (*Emergency Response Coordination Centre) [88] utilizza:

- ECPP (European Civil Protection Pool) [89], un pool di risorse (articoli di soccorso, competenze, squadre di protezione civile e attrezzature specializzate) in standby pronte per essere utilizzate;
- *RescUE* [90], piano per un'ulteriore riserva resa disponibile dal 2019 e per lo sviluppo del sistema logistico;
- *Mappe satellitari* prodotte dal Copernicus Emergency Management Service [91];

Nella seconda parte sono introdotti: il *Fondo di solidarietà "FSUE* [92]*"* dell'UE ed i finanziamenti che l'Unione, ad ogni rinnovo del Quadro Finanziario Pluriennale (QFP) può destinare ad apposite rubriche, alcune delle quali possono essere volte al miglioramento della gestione delle crisi dei paesi membri (come le operazioni di resilienza). Alla fine del paragrafo è inserita una parte dedicata ai nuovi finanziamenti previsti: dall'aggiornamento del QFP 2021-2027 e dallo strumento introdotto per fronteggiare la crisi da COVID-19: *"NextGenerationEU"* (Recovery Fund) [93].

Una risposta ben coordinata ai disastri causati dall'uomo e da eventi naturali a livello europeo può evitare la duplicazione degli sforzi di soccorso e garantire che l'assistenza sia adeguata alle esigenze [123]. Pertanto, l'Unione europea dispone di un organo: il Centro di coordinamento della risposta alle emergenze (ERCC) che rappresenta il fulcro del meccanismo della Protezione Civile dell'UE e fornisce assistenza e coordinamento sotto richiesta di un organismo delle Nazioni Unite o dell'autorità di un paese se l'emergenza supera le sue possibilità di risposta autonoma. Il centro opera 24 ore su 24, 7 giorni su 7, solo così può garantire il monitoraggio in tempo reale e un rapido dispiegamento del supporto. L'ERCC prevede la fornitura di articoli di soccorso, competenze, squadre di protezione civile ed attrezzature specializzate. Nello specifico, l'UE predispone di una riserva di assistenza pre-impegnata (Capacità europea di risposta alle emergenze "ECPP"), con risorse in standby pronte per essere attivate impiegate dagli Stati membri dell'UE, dagli Stati partecipanti e dal Regno Unito (durante il periodo di transizione). L'Unione copre il 75% dei costi di implementazione e gestione delle capacità del pool in Europa mentre per lo spiegamento al di fuori dei propri confini copre solo il 75% dei costi di trasporto. Inoltre, nel 2019 è stata rafforzata la risposta collettiva alle catastrofi attraverso il piano *"RescUE"* che prevede lo sviluppo del supporto logistico e di una nuova riserva da utilizzare

come ultima risorsa quando le capacità degli Stati membri sono già pienamente utilizzate. Quest'ultima comprende: una flotta di aerei ed elicotteri antincendio, aerei di evacuazione medica nonché una scorta di attrezzature mediche ed ospedali da campo in grado di rispondere alle emergenze sanitarie ed incidenti chimici, biologici, radiologici e nucleari. Un'ulteriore attività fondamentale svolta dal centro ERCC è il coordinamento durante una crisi che è agevolato dalle *mappe satellitari* prodotte dal Copernicus Emergency Management Service che forniscono informazioni geospaziali tempestive e precise utili per identificare le aree colpite e pianificare le operazioni di soccorso.

L'Unione Europea, oltre a fornire risorse fisiche ed attività di coordinamento, ricopre il ruolo di finanziatore destinando appositi budget e fondi per la prevenzione e la gestione delle crisi. Per questo ha istituito nel 2002 il *Fondo di solidarietà "FSUE",* uno strumento di risposta non rapida, volto a rispondere finanziariamente ai principali disastri naturali ed esprimere solidarietà alle regioni europee colpite da calamità al quale, sono accantonati circa 600 milioni di euro all'anno ma che nel 2020 sono stati aumentati sino ad un massimo di 1 miliardo l'anno, e che finora è stato utilizzato per 80 casi e ha sostenuto 24 diversi paesi per un importo di oltre 5 miliardi di euro. Inoltre, l'UE nel momento in cui pianifica il Quadro Finanziario a lungo termine può destinare parte del budget direttamente ad attività volte ad implementare la resilienza negli stati membri (come per le attività di prevenzione). Nello specifico, l'UE concorda dei piani di spesa su un periodo di almeno cinque anni, definendo i massimali annui che potrà utilizzare per le diverse categorie di spesa chiamate "rubriche". Questo piano consente all'Unione d'integrare i bilanci nazionali finanziando politiche con un valore aggiunto comunitario. Il responsabile della gestione e dell'esecuzione del bilancio è la Commissione europea, la quale inoltre con la Corte dei conti europea, svolge un'attività di supervisione dell'attuazione da parte delle autorità nazionali e locali. Per dare un'idea di quale sia l'entità degli importi delle rubriche si riporta

il valore di bilancio per l'attuazione del meccanismo di protezione civile dell'UE per il periodo 2014-2020: 368,4 milioni di euro, di cui 223,7 milioni di euro utilizzati per azioni di prevenzione, preparazione e risposta all'interno dell'UE e 144,6 milioni di euro per azioni al di fuori dell'UE. Questi importi sono integrati dai contributi dei paesi extra UE che partecipano al meccanismo di protezione civile dell'UE [147].

Nuovi finanziamenti UE e strumenti di gestione della crisi da COVID-19

L'Unione Europea, nel 2020, ha aggiornato il Quadro Finanziario Pluriennale (QFP) per il periodo 2021-2027 per adeguarlo non solo alle realtà attuali, ma anche alle incertezze future. Il QFP determina gli importi per le rubriche e il 60% del budget (60% di circa 1 099.7 miliardi di euro), è stato destinato alle attività di "Coesione, resilienza e valori", per potenziare i meccanismi di flessibilità volti a garantire la possibilità di fare fronte ad esigenze impreviste. Gran parte delle risorse preventivate saranno finanziate utilizzando le risorse dell'UE mentre la restante parte, 750 miliardi di euro, saranno raccolti con uno strumento temporaneo istituito, per il periodo 2021-2023, per la ripresa post COVID-19 dal nome *"NextGenerationEU"*. Per poterlo attuare, l'UE raccoglierà i fondi necessari emettendo sul mercato finanziario delle obbligazioni con un periodo di rimborso che va dal 2027 sino al 2058, fornendo come garanzia un incremento del massimale delle proprie risorse per i pagamenti (l'importo massimo dei fondi che l'Unione può chiedere agli Stati membri per finanziare le spese) fino al 1,4% del RNL (Reddito Nazionale Lordo) dell'UE e un ulteriore aumento temporaneo dello 0,6%. Il denaro arriverà probabilmente nel secondo trimestre del 2021 ma potrà essere utilizzato anche retroattivamente, (per coprire le spese sostenute da febbraio 2020). L'assegnazione sarà subordinata all'accettazione del piano nazionale di riforme 2021-2023 e sarà sotto forma di prestiti o sovvenzioni. I prestiti saranno concessi agli stati membri secondo i termini dell'emissione

originaria (uguale cedola, durata ed importo nominale) così che i paesi possano beneficiare di condizioni molto vantaggiose date dall'elevato rating creditizio di cui gode l'UE e dei bassi costi dei finanziamenti. Le sovvenzioni invece saranno attribuite sulla base di specifici criteri volti ad identificare i paesi che più hanno sofferto per la crisi. Il programma "NextGenerationEU" si compone di sette misure riassunte nella tabella sottostante [93].

Misure	mld€	Descrizione	Criteri di assegnazione
Dispositivo per la ripresa e la resilienza	672,5	Sostegno finanziario agli investimenti ed alle riforme degli stati membri per aumentare la resilienza delle economie dell'UE e promuovere una crescita sostenibile nell'ottica di una transizione al digitale ed al verde. Dei 672,5 miliardi: 360 sono distribuiti sotto forma di prestiti e 312,5 di sovvenzioni	I Piani degli stati devono contribuire a: - sostenibilità ambientale - produttività - equità - stabilità macroeconomica Nello specifico devono: - essere in linea con le raccomandazioni specifiche per singolo paese - avere almeno il 37 % della spesa in investimenti verdi e riforme in linea con il Green Deal europeo - avere almeno il 20% della spesa in investimenti e riforme per favorire la transizione al digitale - rispettare il principio europeo di "non arrecare un danno significativo" - essere attuati entro il 2026 - il 70% delle sovvenzioni essere impegnate entro il 2021 e il 30% entro fine 2023 Sovvenzioni per l'anno 2021-2022 sono ripartite sulla base di: - disoccupazione 2015-2019 - inverso del PIL pro capite - quota di popolazione Sovvenzioni per l'anno 2023 sono ripartite sulla base di: - calo del PIL reale nel 2020 - calo complessivo del PIL reale nel periodo 2020-2021 - inverso del PIL pro capite - quota di popolazione
REACT-EU	47,5	Per incrementare la coesione tra gli stati membri: per gli investimenti per il risanamento dei mercati del lavoro (anche mediante incentivi per l'occupazione, regimi di riduzione dell'orario lavorativo per scaglionamenti e misure a favore dell'occupazione giovanile),	Ripartiti sulla base di: - Prosperità relativa degli stati - Portata degli effetti socioeconomici del COVID-19 (es. tassi medi di disoccupazione)

		sostegno ai sistemi sanitari e alla liquidità per il capitale di esercizio delle PMI.	
Orizzonte Europa	5	Per finanziare attività essenziali di ricerca nel campo della salute, la resilienza e la transizione verde e digitale.	
InvestEU	5,6	Per sostenere la creazione e lo sviluppo di catene di valore forti e resilienti in tutta l'UE. Volto a potenziare l'autonomia strategica dell'economia e fornire risorse affinché le imprese strategicamente importanti possano prosperare e crescere.	Rivolto alle imprese stabilite ed operanti nell'Unione europea le cui attività sono di importanza strategica e rientrano in settori quali le infrastrutture e le tecnologie critiche e l'assistenza sanitaria critica.
Sviluppo rurale	7,5	Per supportare le zone rurali ad introdurre i cambiamenti strutturali richiesti ai fini del Green Deal ed a raggiungere gli obiettivi delle nuove strategie sulla biodiversità e "Dal produttore al consumatore".	
Fondo per una transizione giusta	10	Per supportare gli Stati membri nella transizione verso un'economia circolare, efficiente sotto il profilo delle risorse e climaticamente neutrale.	
RescEU	1,9	Per rafforzare il meccanismo di Protezione Civile mediante risorse ed un'efficace infrastruttura logistica per rispondere a diversi tipi di emergenza	

3.9. Intelligenza artificiale ed applicazioni

Nel corrente paragrafo è introdotto il concetto di Intelligenza Artificiale e sono descritte le branche in cui si scompone. Nello specifico sono approfondite le applicazioni nella gestione del rischio da cui risulta che l'IA è efficace quando si tratta di rischi esogeni e di attività di regolamentazione (ad esempio, applicazione di normative) mentre non risulta essere una buona scelta per i rischi endogeni, i rischi estremi unici e quelli di cui in generale si hanno pochi dati od incompleti o in cui le relazioni tra le variabili mutano velocemente e continuamente.

L'Intelligenza Artificiale è la capacità di una macchina di imitare, in parte, il comportamento umano attraverso la comprensione di specifici pattern che includono: pianificazione, comprensione del linguaggio, capacità di riconoscere strumenti o suoni, risoluzione di problemi ed abilità d'imparare [94].

Una branca dell'Intelligenza Artificiale è il *Machine Learning (ML)* ovvero "apprendimento automatico" con cui si denota la capacità di un algoritmo di modificarsi ed evolvere mentre apprende da diverse situazioni attraverso un addestramento che è tanto più efficiente tanto più è grande la mole di dati osservati [94]. Le macchine di ML apprendono una relazione funzionale tra le variabili osservate e l'obiettivo di previsione per le quali sono state addestrate. Questo, può essere fatto secondo quattro procedimenti: con supervisione, con semi supervisione, senza supervisione e con rinforzo [95].

- Nel primo caso, un modello è addestrato sulla base di dati di input di cui sono noti gli output ovvero di dati strutturati ed etichettati, per cui il modello prevede output futuri utilizzando tecniche di classificazione e regressione, sulla base di quanto ha appreso da numerosi esempi forniti preventivamente;
- Nel secondo caso, il funzionamento è simile a quello precedente ma per l'addestramento sono utilizzati dati etichettati e non, di cui solitamente i secondi sono un numero maggiore (poiché acquisirli è più economico e meno faticoso). Pertanto, questa tipologia si applica in casi in cui è troppo costoso utilizzare l'apprendimento totalmente supervisionato;
- Nel terzo caso, il modello non ha a disposizione dati etichettati e deve individuare pattern nascosti o strutture intrinseche e ricorrenti al fine di trovare una buona rappresentazione interna. Questo può essere fatto ad esempio mediante tecniche di clustering raggruppando i dati per similarità.

- Infine, l’apprendimento con rinforzo non richiede un set di dati di addestramento predefinito, tutto ciò che occorre è un modello di simulazione che rappresenti l’ambiente con cui interagisce e che intende controllare. Invece di ispezionare i dati forniti il modello interagisce con l'ambiente cercando modi per massimizzare la propria ricompensa. Pertanto, questo modello trova soprattutto applicazione in casi in cui l’obiettivo è che la macchina interagisca con l’esterno (comprenda i cambiamenti e agisca di conseguenza). Nel caso dell'apprendimento con rinforzo profondo, una rete neurale è incaricata di memorizzare le esperienze fatte grazie all’addestramento con dati generati dinamicamente dai modelli di simulazione e quindi migliora il modo in cui vengono eseguite le attività [96].

Queste tecniche consentono di implementare controllori e sistemi di decision-making per apparati complessi come robot e sistemi autonomi. Una volta identificato l’approccio, diversi sono gli algoritmi che possono essere utilizzati. La scelta dell’algoritmo dipende dal formato e dal tipo di dati utilizzati, dal risultato che si desidera ottenere e dal suo utilizzo ma non esiste un metodo di scelta esatto e valido per tutti i casi così, in parte, la ricerca del giusto algoritmo viene fatta per tentativi ed errori.

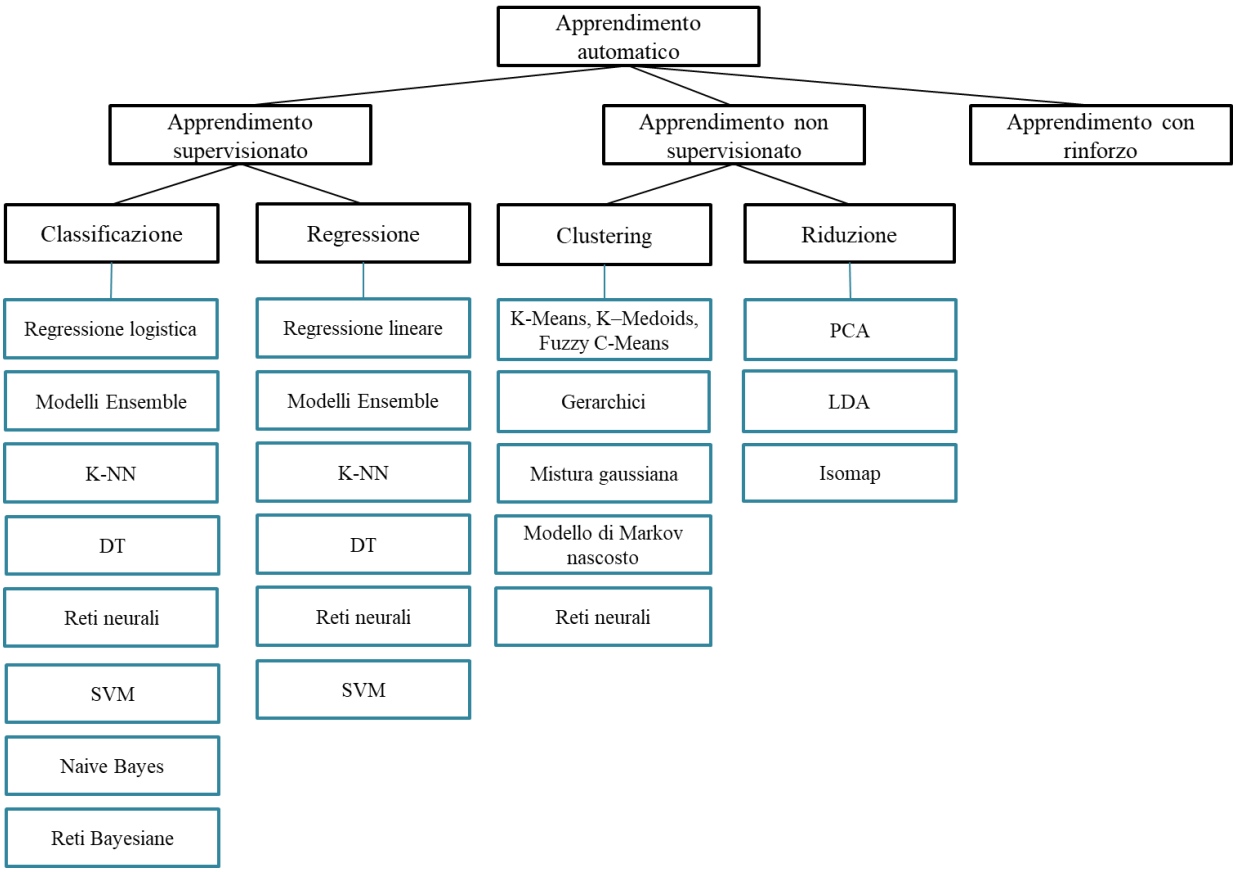

Fig.16. Algoritmi e categorie di apprendimento

Una versione ancora più evoluta e sofisticata dell'apprendimento automatico è il *deep learning (DL)* o "apprendimento profondo". Il DL si distingue per la capacità di apprendere le feature direttamente dai dati senza la necessità di estrarle manualmente (indipendentemente trova le caratteristiche necessarie per definire un determinato elemento) e per l'alto grado di precisione che può raggiungere. Per sostenere tali performance il DL necessita di incredibili quantità di Big Data (maggiori rispetto a quelli necessari per l'apprendimento automatico), un lungo tempo di addestramento, GPU ad alte prestazioni ed insiemi di modelli di reti neurali multilivello [16] con diverse unità di elaborazione. Nel dettaglio, ciascun livello riceve un input da quelli precedenti, ne apprende una rappresentazione di alto livello e la passa a quello successivo. Il termine "profondo" si riferisce

[16] Le reti neurali multilivello sono modelli matematici che si ispirano al funzionamento biologico del cervello umano

solitamente al numero di livelli nascosti, che nelle reti neurali tradizionali sono solo 2-3 mentre in quelle profonde possono arrivare fino a 150. I livelli aggiuntivi facilitano la generalizzazione a nuove combinazioni delle funzionalità, che sono meno rappresentate nei dati di addestramento. Nella prima fase di addestramento è necessario l'utilizzo di dati etichettati i quali solitamente sono dei meta tag [97]. Il DL impara a svolgere attività di classificazione direttamente da immagini, testi o suoni che lo rendono particolarmente adatto per le applicazioni di speech recognition e computer vision in cui può raggiungere una precisione tale da superare talvolta l'uomo. Una delle tipologie più comuni di reti neurali è nota come rete neurale convoluzionale (CNN) già descritta nel capitolo 3.4. La maggior parte delle applicazioni del deep learning utilizza l'approccio denominato "transfer learning", un processo che consiste nell'affinamento di un modello precedentemente addestrato. Si parte da una rete esistente come AlexNet o GoogLeNet, in cui si inseriscono nuovi dati contenenti classi precedentemente sconosciute e una volta messa a punto la rete è possibile svolgere una nuova attività. Questo approccio inoltre presenta il vantaggio di richiedere molti meno dati quindi i tempi di calcolo si riducono a pochi minuti o ad alcune ore [98].

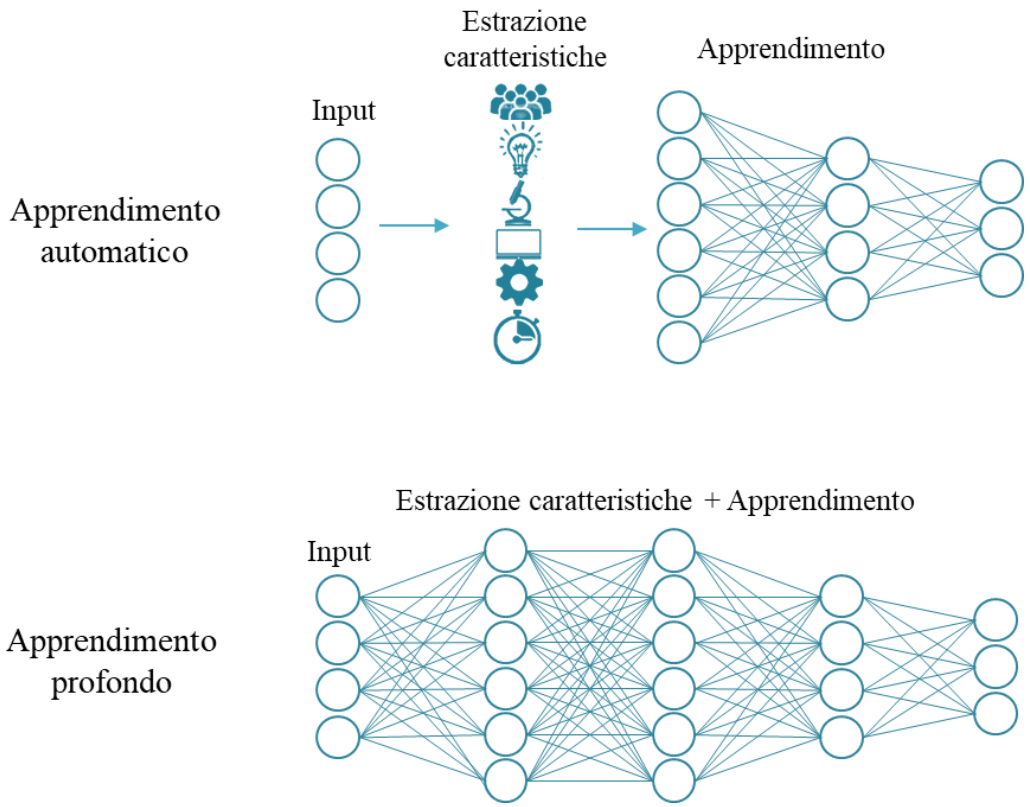

Fig.17. Rappresentazione della struttura dell'Apprendimento automatico e dell'Apprendimento profondo [99]

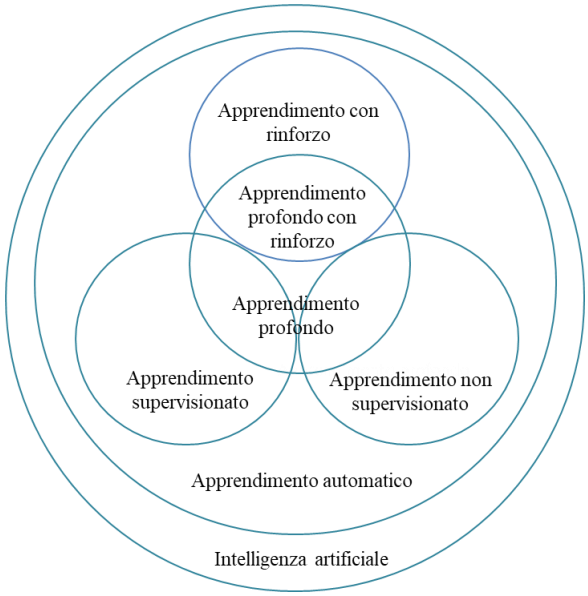

Fig.18. Intelligenza Artificiale e sottocategorie

Per comprendere le applicazioni dell'Intelligenza Artificiale nel campo della gestione del rischio si distingue tra: rischio esogeno ed endogeno. Il primo è conosciuto, misurabile e quantificabile (relativo agli effetti dell'ambiente e dei processi correlati come: alluvioni, inquinamento, rapine, ecc.) mentre il secondo

di solito non è né misurabile né quantificabile e non si presta a rappresentazioni statistiche dirette. Nel caso del sistema di borsa valori il rischio esogeno è, ad esempio, quello associato alle notizie ed agli annunci, i quali sono eventi imprevisti ma di impatto noto a cui consegue la volatilità misurabile o spiegata nei mercati legata alle strutture del modello e rispetto al quale i comportamenti dei trader e degli investitori sono ben definiti e razionali. Mentre il rischio endogeno è relativo al trading interno al mercato, il quale porta alla volatilità inspiegabile che non ha un legame con fattori specifici o tecnici, è ad esempio il rischio correlato all'interazione degli agenti componenti il sistema, molti dei quali si ottimizzano rispetto ad esso e creano deliberatamente complessità nascoste nel tentativo di ostacolare le aspettative degli altri [122]. L'Intelligenza Artificiale può eccellere nella gestione del rischio esogeno noto, dove promette significativi risparmi sui costi ed aumenti dell'efficienza operativa ma sarà peggiore nel gestire quello endogeno non quantificabile [100]. Generalmente il problema è aggirato utilizzando solo approssimazioni grezze in cui si assume che il rischio sia esogeno. Questa mossa è accettabile quando si opera in contesti con risultati ripetuti in cui ogni decisione è abbastanza irrilevante, il costo del fallimento è basso e gli obiettivi sono a breve termine ma se si applica a grandi istituzioni od interi sistemi, il potenziale di perdere di realisticità aumenta.

L'Intelligenza Artificiale, rispetto al cervello umano, è capace di comprendere e considerare una maggiore gamma di interrelazioni e variabili, pertanto, potenzialmente potrebbe essere utilizzata per comprendere meglio il rischio sistemico ed il comportamento dei sistemi. Tuttavia, ad oggi, ci sono ancora delle difficoltà tecniche nella modellazione della natura dinamica della struttura delle dipendenze dei sistemi complessi: le variabili e le relazioni possono cambiare velocemente e continuamente richiedendo un aggiornamento costante degli algoritmi che potrebbero non riuscire a stare al passo. Inoltre, nelle applicazioni di larga scala è difficile capire la realtà fisica che si trova dietro ai risultati che le

macchine forniscono e quindi dedurne l'affidabilità. Neanche gli uomini sono in grado di comprendere il rischio sistemico, possono solo sperare di catturare una piccola parte di quella complessità ma ciò che in aggiunta possiedono rispetto alle macchine (che potrebbe essere utile in queste applicazioni) è l'intuito dato dalla conoscenza tacita degli esperti e dal genio creativo degli inventori.

Un altro limite dell'Intelligenza Artificiale è la difficoltà che si riscontra nell'applicarla in assenza di informazioni complete o cospicue, infatti è complicato se non impossibile utilizzarla per eventi causati da serie uniche di minacce di cui vi sono pochi dati su cui eseguire l'addestramento. Tuttavia, in alcuni casi apparentemente privi di dati disponibili, l'Intelligenza Artigianale può superare i limiti della privacy ed ottenere l'accesso ad informazioni che non sarebbero altrimenti consultabili in caso di trattazione umana.

Invece un dominio in cui l'Intelligenza Artificiale può ben operare è la regolamentazione, infatti tale campo richiede la valutazione di una grande quantità di dati oggettivi e fattuali in relazione ad un insieme di regole ben definite con obiettivi espliciti, le variabili endogene sono modeste e spesso possono essere ignorate. A dimostrazione di ciò, l'Intelligenza Artificiale ha generato un nuovo campo chiamato tecnologia normativa: "Reg Tech". L'unico problema in questo campo della regolamentazione è la natura prevedibile ed aggirabile dell'IA in quanto gli algoritmi sono razionali e le regole di ottimizzazione sono note e cambiano lentamente. Per cui è necessario, per rendere il motore dell'Intelligenza Artificiale resiliente agli attacchi, che sia dotato della capacità di sperimentare e randomizzare le sue reazioni e anche di un po' di potere sul regolamento [100].

3.10. Approfondimenti per le classi di rischio

Questo capitolo è dedicato ad approfondimenti per le varie classi di rischio e dove necessario per le singole minacce. Per ogni tipologia sono riportate le informazioni relative alla predizione ed alla gestione delle crisi. All'inizio di ogni sottoparagrafo sono introdotti in maniera sintetica gli strumenti ed i metodi applicati che sono successivamente argomentati in forma discorsiva.

3.10.1. Catastrofi naturali e Clima

Alluvioni e inondazioni

Strumenti e metodi di predizione del rischio
Aumento degli indici delle precipitazioni (cumulata massima su 3 o 6 ore) e dei picchi di flusso
Simulazione della formazione dell'onda di piena sulla base di dati storici e dati raccolti con il monitoraggio in tempo reale (mediante: sensori di telerilevamento installati lungo i bacini e i fiumi, immagini satellitari, radar meteorologici, modelli idraulici e meteorologici)
Modelli di probabilità multivariata per le analisi
Reti convoluzionali profonde e indice SOFI per il monitoraggio e la previsione dell'allagamento
Random Forest, Bagging decision tree e reti bayesiane per quantificare le stime di perdita economiche post alluvione
Strumenti e metodi di gestione delle crisi
Prevenzione con l'adattamento delle famiglie (sottoscrizione di assicurazioni contro le inondazioni, rendere a prova di inondazione gli edifici esistenti mediante, ad esempio, impermeabilizzazione a secco od elevazione)
Prevenzione con l'adattamento dei governi (aumentare gli standard di protezione, per esempio con più alti argini dei fiumi, vasche di laminazione,

sistemazioni idraulico-forestali, consolidamento dei versanti, introduzione di vincoli che impediscono o limitano l'espansione urbanistica in aree a rischio, pianificazione di emergenza, la realizzazione di sistemi di allertamento e di reti di monitoraggio e comunicazione con la popolazione)
Prevenzione con messa in allerta della popolazione tramite: -mappe che includono indicatori del livello corrente delle acque con le relative allerte collegate e la velocità di aumento -mappe che rappresentano un resoconto delle inondazioni passate così che ci si renda conto di quali sono state le profondità delle inondazioni -simulatore di esplorazione delle inondazioni che consente all'utente di impostare diversi livelli d'acqua e simulare le aree colpite e la profondità stimata di un'inondazione

Le alluvioni al contrario di altri eventi naturali, come i terremoti, si formano con una sequenza causa - effetto più evidente, che può essere osservata nell'andamento (durata ed intensità) delle precipitazioni. Quest'ultime sono infatti considerate la causa scatenate della formazione di onde di piena, la cui rapidità però dipende anche da altre condizioni, principalmente la dimensione e la forma del bacino. Inoltre, vi sono dei fattori secondari che possono inficiare la precisione delle stime, tra cui: le mutevoli condizioni iniziali di umidità del suolo, la presenza di sedimenti trasportati al fondo e la presenza di materiale galleggiante (come tronchi, vegetazione, masserizie). Pertanto, per rendere le analisi più affidabili sono utilizzati modelli di probabilità multivariata. Un modo efficace di studiare eventi multivariati, utilizzato in molti campi di studio, consiste nel trattare separatamente le singole leggi marginali e la struttura di dipendenza (Copula). La tendenza all'aumento del rischio di inondazioni improvvise può essere dedotta dall'aumento degli indici delle precipitazioni e dei picchi di flusso. Nel tempo, sono stati utilizzati diversi *indici delle precipitazioni* che sono stati scelti principalmente in base all'esperienza o ai set di dati disponibili lasciando spazio a soggettività ed arbitrarietà. Secondo uno studio condotto dai ricercatori del Dipartimento di Management, della London School of Economics and Political Science [127], gli indici di pioggia più appropriati nell'analisi del rischio di

inondazioni improvvise sono le precipitazioni cumulate di 3 ore e di 6 ore. Inoltre, al giorno d'oggi, si dispone di un ampio database di pericolo di alluvione grazie a numerosi set di dati storici a cui si aggiungono i dati del monitoraggio idrologico. In molti casi è infatti possibile avere un quadro aggiornato in tempo reale dell'andamento delle precipitazioni e dell'evolversi dei livelli e delle portate delle acque grazie a sensori di telerilevamento installati lungo i bacini ed i fiumi, alle immagini satellitari, ai radar meteorologici, a modelli idraulici e meteorologici. Con questi dati a disposizione è possibile costruire modelli di previsione idrologica capaci di simulare con un certo preavviso la formazione dell'onda di piena. Nel caso del bacino dell'Arno, per esempio, si possono avere previsioni ragionevolmente affidabili con tempi di preavviso dell'ordine di 36 - 48 ore [124]. Specificatamente nei contesti urbani le alluvioni sono destinate a divenire sempre più frequenti ed invasive in concomitanza con l'aumento dell'impermeabilizzazione del suolo. I gestori del drenaggio urbano devono pertanto comprendere le tendenze delle inondazioni a lungo termine, progettare soluzioni appropriate per la mitigazione nel medio periodo e fornire allarmi in tempo reale o molto breve. Come prima citato, la modellazione numerica delle inondazioni è ampiamente utilizzata in tutte queste attività, ma sono necessari molti dati ed i sensori convenzionali non sono adatti agli ambienti urbani dove i veicoli possono disturbare il flusso e vi è il problema del vandalismo. Così, alcuni ricercatori e professionisti si sono rivolti a fonti alternative di raccolta dei dati come filmati di sorveglianza, combinazioni di sensori ad ultrasuoni-infrarossi, indagini sul campo, social media, app e rapporti di prima mano mentre altri in alternativa, data l'assenza di dati quantitativi, hanno dimostrato l'efficacia dell'utilizzo di quelli qualitativi. Nello specifico il ETH Risk Center di Zurigo ha sviluppato un approccio innovativo rispetto ai precedenti [114] ed altamente scalabile, il quale sfrutta i sistemi di telecamere di sorveglianza esistenti per fornire informazioni qualitative sull'andamento del livello di alluvione su larga scala. L'approccio utilizza una *rete neurale convoluzionale profonda (DCNN)* per

rilevare l'acqua d'inondazione nei filmati ed un nuovo indice qualitativo d'inondazione *(indice di allagamento dell'osservatore statico - SOFI)* come proxy delle fluttuazioni del livello dell'acqua visibile. In una prima fase, l'acqua di inondazione viene segmentata in singoli fotogrammi video con una rete convoluzionale profonda (DCNN). I frame segmentati vengono quindi riassunti con un indice (SOFI) che viene valutato in più momenti consecutivi nel tempo, così da ottenere informazioni sulle fluttuazioni del livello dell'acqua:

$$\mathrm{SOFI} = \frac{\#\,\mathrm{Pixel}_{\ \mathrm{Allagato}}}{\#\,\mathrm{Pixel}_{\ \mathrm{Totale}}}$$

Questo approccio comunica la fluttuazione del livello dell'acqua nel tempo e non un livello assoluto, quindi, restituisce minori informazioni rispetto ad uno studio quantitativo ma risulta promettente in applicazioni urbane per i motivi precedentemente descritti e per le fitte reti di telecamere già installate in molti comuni. Inoltre, l'analisi automatica a differenza di quella manuale aiuta a superare la laboriosità della lettura delle immagini su larga scala e le potenziali critiche dal punto di vista della privacy.

Per quanto riguarda le attività di prevenzione, i ricercatori del Wharton Risk Management and Decision Processes Center hanno dimostrato (Toon Haer et al., 2019) che il rischio di alluvione può essere ampiamente compensato dalle decisioni di *adattamento delle famiglie e dei governi*. L'adattamento delle famiglie si può concretizzare nella sottoscrizione di un'assicurazione contro le inondazioni o nel rendere a prova d'inondazione gli edifici esistenti mediante, ad esempio, impermeabilizzazione a secco che riduce i danni impedendo all'acqua di entrare nell'edificio od elevazione degli edifici di recente sviluppo portando la struttura al di sopra dei potenziali livelli di alluvione. Sia l'impermeabilizzazione a secco che l'elevazione sono comportamenti adattivi delle famiglie che riducono

il rischio per la superficie dell'edificio. Per incrementare l'adattamento sono rilevanti gli incentivi dei diversi schemi di assicurazioni sul comportamento residenziale e per la resilienza, ad esempio in questi casi può essere offerto uno sconto sul premio alle famiglie. Per quanto riguarda i governi, questi possono aumentare gli standard di protezione, per esempio, alzando gli argini dei fiumi. Nel breve termine le azioni delle famiglie possono essere più influenti per la riduzione del rischio rispetto a quelle del governo, pertanto la responsabilità è anche della popolazione il che implica coinvolgimento ed informazione a tutti i livelli. Una ricerca condotta dall'Institute of Hazard, Risk and Resilience [131] ha rilevato i limiti delle attuali misure di *comunicazione degli organi di governo,* i quali in tempo reale non riescono a trasmettere la probabile significatività delle alluvioni previste e le mappe delle inondazioni che forniscono mancano di informazioni dettagliate od usano una terminologia che le persone a rischio trovano difficile da comprendere ed inutile per prendere decisioni informate su come prepararsi. Così, in questo studio i ricercatori hanno proposto per gli utenti a rischio, delle *mappe* che in maniera semplice e visiva includono indicatori del livello corrente delle acque con collegate le allerte e la velocità di aumento o diminuzione. Inoltre, hanno sviluppato mappe che rappresentano una sorta di resoconto delle inondazioni passate così da rendere note le profondità raggiunte ed infine, hanno aggiunto un *simulatore* che consente di impostare diversi livelli dell'acqua e vedere le probabili aree colpite e la profondità stimata di un'inondazione.

Per quanto riguarda la modellazione delle perdite, numerosi metodi forniscono stime quantitative in termini monetari. Uno studio [121] del centro COmplex Risk and Data Analysis di Pavia, ha analizzato le applicazioni dei vari metodi in diversi contesti europei e ha affermato che i modelli multi variabili sono preferibili. Questi però in genere sono soggetti ad una notevole incertezza che va quantificata. Recentemente, nella modellazione delle perdite di alluvione, sono stati applicati

degli approcci Ensemble per fornire informazioni sull'incertezza che hanno dimostrato che gli insiemi di modelli basati su alberi, come *Bagging decision tree o Random Forests*, sono adatti per la modellazione delle perdite di alluvione su microscala (ad esempio, singoli edifici) e mesoscala (ad esempio, unità di uso del suolo). Questo, in quanto sono in grado di catturare le dipendenze non lineari e non monotone tra il predittore e le variabili di risposta e prendono in considerazione le interazioni tra i predittori. Oppure, sono state utilizzate le *reti bayesiane* per sviluppare modelli probabilistici e multi variabili di perdita di alluvione per stimare le perdite di edifici residenziali su microscala. Gli approcci di insieme e probabilistici forniscono intrinsecamente informazioni quantitative sull'incertezza associata alla variabilità dei dati di input ed alla struttura del modello.

In Italia (secondo la descrizione della Protezione Civile) gli interventi di tipo preventivo che lo stato e le regioni mettono in atto possono essere strutturali o non strutturali. I primi consistono in opere di sistemazione volte a ridurre la pericolosità dell'evento abbassandone la probabilità di accadimento oppure attenuandone l'impatto come *argini, vasche di laminazione, sistemazioni idraulico-forestali, consolidamento dei versanti,* ecc. Gli interventi non strutturali, invece, consistono nelle azioni finalizzate alla riduzione del danno attraverso: l'introduzione di *vincoli* che impediscono o limitano l'espansione urbanistica in aree a rischio, la *pianificazione di emergenza* e la realizzazione di *sistemi di allertamento e di reti di monitoraggio*. Per la gestione del rischio e delle emergenze su tutto il territorio è attivo un sistema di stazioni per la raccolta, il monitoraggio e la condivisione in tempo reale dei dati meteorologici, idrogeologici e idraulici. L'insieme di questi costituisce il Sistema nazionale di allertamento costituito dalla rete dei Centri Funzionali decentrati (uno per Regione) e quello centrale (presso il Dipartimento di Protezione Civile). Ai fini della previsione e della prevenzione del rischio, secondo la direttiva del 27

febbraio 2004, le Regioni e le Province autonome, cooperando tra loro e d'intesa con il Dipartimento, hanno suddiviso e/o aggregato i bacini idrografici di propria competenza in zone di allerta (omogenee per gli effetti idrogeologici ed idraulici attesi) e per ciascuna area hanno identificato alcuni precursori od indicatori (ad esempio, un'intensa precipitazione) del possibile verificarsi di fenomeni di dissesto e ne hanno determinato i valori critici in soglie di riferimento. A queste, corrispondono degli scenari di rischio, distinti in livelli di criticità crescente: ordinaria (ad esempio: smottamenti localizzati, allagamenti di sottopassi, rigurgiti fognari ma anche fenomeni localizzati come piene improvvise e colate rapide), moderata (ad esempio: esondazioni ed attivazione di frane e colate in contesti geologici critici) ed elevata (estese inondazioni e frane diffuse). In caso di esondazioni, sulla base delle valutazioni e dei livelli di criticità dichiarati, al Sindaco compete l'attivazione di quanto previsto nel proprio Piano di protezione civile e di informare la popolazione. Al Dipartimento invece, compete di informare ed allertare le componenti statali e le strutture operative del Servizio nazionale di protezione civile.

Terremoti

Strumenti e metodi di predizione del rischio
SoVI® e Resilience Performance Scorecard (RPS) per valutare la vulnerabilità sociale
Curve di fragilità per valutare la vulnerabilità fisica
Catalogo di Harvard (registro di dati sui terremoti e scosse di assestamento)
Legge Omori e legge Gutenberg-Richter
Studi di Jackson e Kagan sulla predizione della probabilità di accadimento dei terremoti secondo la legge di Poisson
EEW (Earthquake Early Warning) per dare il preallarme

Mappe di pericolosità (ad esempio realizzate mediante il metodo Cornell)
Simulazione di scenari
Deep Learning per il monitoraggio, l'estrazione ed analisi dei dati sismici
Strumenti e metodi di gestione delle crisi
Capitale di prevenzione (procedure acquisite dalla popolazione per affrontarlo, piani di emergenza con segnali d'allarme e di evacuazione e piani di aiuto, interventi strutturali come adattamenti delle fognature, adattamento di edifici, ponti, strade ed apposita pianificazione urbana) sulla base di: R=f (P,E,V)
Studi di Jackson e Kagan per stimare il tasso di fatalità e le perdite economiche post sisma
I modelli ERGO-EQ, HAZUS-MH, SYNER-G e MCEER per stimare il numero di sfollati richiedenti alloggi pubblici temporanei post sisma
ShakeMap per la visualizzazione del livello di scuotimento di una zona e LandScan il database della distribuzione della popolazione
Microzonazione sismica, una mappa delle zone stabili e non stabili

I terremoti sono vibrazioni od assestamenti della crosta terrestre provocati dallo spostamento improvviso di una massa rocciosa nel sottosuolo.

Per farvi fronte, è innanzitutto necessario che tutti i governi siano sempre dotati di un *capitale di prevenzione* che comprenda tutte le risorse per proteggere l'economia e per ridurre i danni istantanei ed i tempi di recupero. Specificatamente, il capitale di prevenzione include le procedure acquisite dalla popolazione per affrontare il sisma, i piani di emergenza, gli adattamenti delle fognature, degli edifici, di ponti, strade e della pianificazione urbana. E' noto però che nella pratica queste misure contano di maggiore sostegno politico solo quando la frequenza dei terremoti aumenta, il che è sbagliato infatti un livello minimo deve essere sempre garantito e quantificato in base al valore stimato del rischio sismico di quel territorio. Quest'ultimo è calcolabile in funzione di tre elementi

principali: “pericolosità”, “esposizione” e “vulnerabilità” (R = f (P,E,V)) [133]. Il termine “esposizione” si riferisce alla popolazione od alle aziende ed attività che si trovano in zone che possono essere soggette alla minaccia. La “vulnerabilità” invece collega l'intensità di un pericolo alle potenziali perdite degli elementi esposti e può essere fisica o sociale. Nel primo caso, può essere identificata per classi di edifici mediante l'uso di curve di fragilità che descrivono la probabilità condizionale di superare uno stato limite di danno per specifiche intensità di movimento del suolo. Tali curve possono essere ricavate mediante l’analisi statistica dei dati osservazionali e la simulazione numerica e possono essere rappresentate con una distribuzione log normale in funzione della massima accelerazione del suolo (Fig.19.).

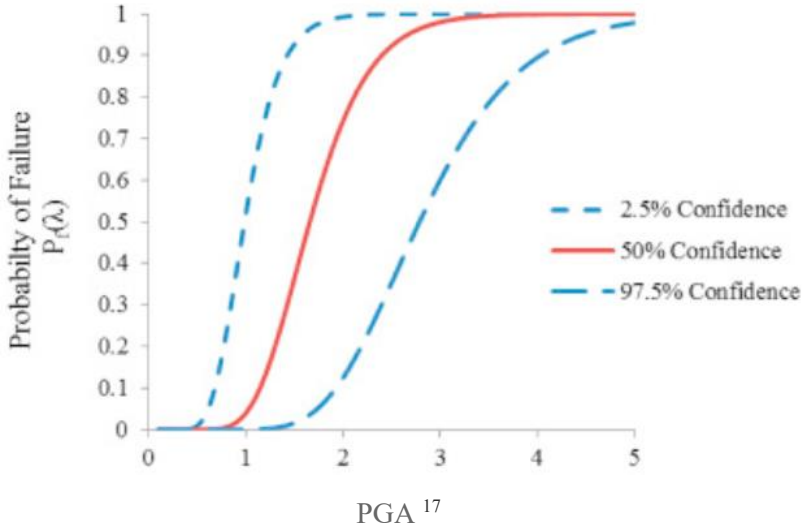

Fig.19. [120]

La “vulnerabilità” sociale, invece, per essere valutata richiede un’analisi multivariata che includa le caratteristiche socioeconomiche relative alla preparazione, risposta e ripresa della comunità all’evento sismico. A tale fine può essere calcolato l’indice di vulnerabilità sociale *SoVI*® [128] il quale si basa su una serie di indici secondari calcolati in funzione dei dati censuari, come età della

[17] PGA (Peak ground acceleration) è la misura della massima accelerazione del suolo indotta del terremoto e registrata dagli accelerometri

popolazione, percentuale di disabili, livello di formazione scolastica, livello di occupazione, ecc.. I valori vengono successivamente elaborati e gli è attribuito un punteggio di cui, per ottenere il risultato totale finale di vulnerabilità, è calcolata la media. Tale misura sarà tanto maggiore quanto più sono alte le percentuali di anziani (>65 anni), giovani (<18 anni), disabili, stranieri, rifugiati e donne. Quest'ultime poiché generalmente sono più vulnerabili durante la fase di recupero rispetto agli uomini a causa, solitamente, dell'occupazione specifica del settore in cui sono impiegate, dei salari relativamente inferiori e della responsabilità dell'assistenza familiare. Un altro approccio che può essere seguito per la valutazione della vulnerabilità sociale è quello previsto dal metodo *Resilience Performance Scorecard (RPS)* [128] che, attraverso la progettazione di specifici questionari, si pone l'obiettivo di superare le difficoltà che possono essere incontrate nella quantificazione degli indicatori del SoVI® dinnanzi a dati mancanti o non disponibili. Tali questionari sono uno strumento di autovalutazione qualitativa multi-scala che comprende i fattori fondamentali per il miglioramento della resilienza urbana. Le aree chiave incluse nell'indagine sono: capacità sociale, consapevolezza e sostegno, accordi legali ed istituzionali, pianificazione e regolamentazione, infrastrutture e servizi critici, preparazione e risposta alle emergenze. Infine, è possibile seguire l'approccio proposto dalla Scuola Superiore Universitaria IUSS di Pavia che prevede il calcolo di un *indice composito* dei due sopra descritti [128].

Per la determinazione del terzo fattore, ovvero della "pericolosità", è necessario conoscere la frequenza dei terremoti e le caratteristiche del sito. Esistono degli strumenti chiamati mappe della pericolosità sismica che identificano le aree che più probabilmente sono soggette a terremoti ad alta intensità. Quelle utilizzate dalla Protezione Civile italiana sono su diversi livelli (nazionale o regionale), nel caso della mappa di livello nazionale il territorio è stato suddiviso secondo 4 tipi di rischio in cui la fascia 1 rappresenta quello più alto mentre la 4 quello più basso.

La realizzazione di queste mappe è resa possibile dall'applicazione del *Modello Cornell* che utilizza le seguenti informazioni:

- un modello dell'andamento delle strutture geologiche superficiali e profonde;
- una carta neotettonica, nella quale sono evidenziati i movimenti "recenti" della crosta terrestre (negli ultimi milioni di anni);
- un catalogo dei terremoti, con la relativa distribuzione spaziale e temporale;
- un modello di attenuazione che consente di calcolare per ciascun sito l'entità dello scuotimento prodotto dai terremoti generati nelle aree circostanti.

In termini di predizione, ad oggi, è pressoché impossibile prevedere l'occorrenza degli eventi sismici. Tuttavia, esistono due leggi a riguardo. La prima, è la *legge Omori (1894)* che mediante una formula empirica prevede il decadimento delle conseguenze del terremoto, secondo cui: il tasso delle scosse di assestamento diminuisce rapidamente nel tempo e la dipendenza dall'inverso del tempo permette di stimare la probabilità di ricorrenza delle ulteriori scosse. La seconda, è la *legge Gutenberg-Richter (1956)* che stabilisce la relazione tra il numero di terremoti e la loro intensità, per cui: tanto più intenso è il terremoto e meno è frequente e viceversa. Inoltre, Jackson e Kagan hanno condotto uno studio [115] per fornire una guida per la politica economica (e non un vero e proprio avvertimento), in cui hanno stimato le probabilità dei terremoti mondiali a lungo termine utilizzando il *catalogo di Harvard sui terremoti* e assumendo che la distribuzione dei terremoti nel tempo segue un processo di Poisson. Quando la frequenza stocastica di una variabile segue la distribuzione di Poisson (nota come legge degli eventi rari), la probabilità che si verificheranno "q" occorrenze in un certo periodo di tempo è:

$$p(q \mid \gamma) = \frac{\gamma^q}{q!} e^{-\gamma}$$

Dove γ è il numero medio di occorrenze per lo stesso intervallo di tempo. Infine, recentemente sono stati sviluppati degli strumenti che permettono di prevedere l'arrivo di un terremoto qualche istante prima che si manifesti, permettendo così almeno di dare un segnale di preallarme [141]. Se sfruttati correttamente tali strumenti possono limitare i danni. Infatti, subito dopo l'allarme, possono essere evacuati gli edifici pericolosi ed essere intraprese azioni automatizzate come: l'arresto degli ascensori vuoti, l'apertura delle porte di sicurezza, il rallentamento dei treni ad alta velocità, la chiusura dei gasdotti e la commutazione di segnali per impedire ai veicoli di entrare in strutture vulnerabili come ponti e tunnel, ecc. Un tale sistema di preallarme, è il *EEW* (Earthquake Early Warning), costituito da una rete di sensori sismici situati all'interno dell'area epicentrale prevista o dell'area ad alta sismicità in una località, regione o nazione [141]. Una versione alternativa sfrutta la densità sempre crescente del mobile computing ed utilizza i sensori degli smartphone come rete sismica.

Per quanto riguarda invece la predizione dell'intensità di un terremoto, questa non può essere prevista né stimata.

In fase di gestione delle crisi post sisma la modellazione delle conseguenze prevede la determinazione e quantificazione delle informazioni necessarie alle attività di pronto intervento, tra cui: l'entità, l'estensione e la localizzazione dei danneggiamenti. Qui possono essere usati strumenti di valutazione costruiti sulla base di *simulazioni di scenari* dei danni che consentano di pianificare e gestire l'intervento in tempo reale, prima ancora dei sopralluoghi. A questi strumenti sono inoltre associate attività di valutazione speditiva dei danni, per consolidare le analisi preliminari e le proiezioni realizzate sulla base dei primi dati registrati

dalla rete sismica di monitoraggio. In caso di terremoti al di sopra della soglia del danno può essere eseguito un rilievo macrosismico speditivo con finalità di indirizzo e coordinamento dei soccorsi e delle risorse di emergenza. Con il rilievo è possibile assegnare a ciascuna area un valore di intensità macrosismica espresso in gradi della scala Mercalli Cancani Sieberg (MCS). Dall'analisi della letteratura relativa a questo tema della modellazione dell'impatto di un terremoto, emergono gli studi di *Jaiswal e Wald (2011)* [117], che introducono una funzione per valutare le perdite economiche immediate ed i decessi, dopo sismi significativi in tutto il mondo. Essi hanno formulato due tassi: di fatalità "v" e perdita "r". Il primo è funzione dell'intensità del terremoto (S) e può essere espresso con la seguente formula:

$$v(S) = \Phi\left[\frac{1}{\beta}\ln\left(\frac{S}{\theta}\right)\right]$$

dove Φ è la funzione di distribuzione normale cumulativa standard e θ e β i parametri relativi alla regione. Nel 2009 in Italia nel θ valeva 13.23 e β 0.18, a cui corrisponde nel caso di un'intensità di livello IX, un tasso di mortalità di una su 68 persone esposte e si riduce ad una su 6310 per un'intensità di livello VII [118]. Il secondo tasso "r" è stimato dal rapporto diretto tra perdita economica ed esposizione economica totale. Data l'intensità (s) del terremoto il tasso di perdita è:

$$r(s) = \phi\left[\frac{1}{\beta}\ln\left(\frac{s}{\theta}\right)\right]$$

φ è la normale funzione di distribuzione cumulativa con parametri liberi θ e β della regione. Nel 2011 i valori dei parametri per l'Italia valevano: β = 0.10 e θ = 9.03 [117]. Una volta ricavato il tasso di perdita è possibile ottenere la perdita economica moltiplicando il tasso per l'esposizione economica, quest'ultima può

essere calcolata come PIL pro capite, moltiplicato per la popolazione della regione, moltiplicata per il fattore di correzione α specifico della regione. Nel contesto del processo decisionale a lungo termine, la funzione del danno deve tenere conto anche degli effetti ritardati per permette di calcolare le perdite complessive, cosa che non accade in molti modelli di previsione statici. Due nuove funzionalità vengono così aggiunte a quella di perdita originale, ovvero: investimento nella prevenzione e tempo di recupero. Si utilizza una funzione "g, di recupero", che dipende dal capitale di prevenzione e dal tempo trascorso dall'ultimo evento sismico. Se quest'ultimo è avvenuto a t', la funzione di perdita al tempo t sarà:

$$\varphi(b, \mu, t, t') = g(b, t, t')r(\mu) = g(b, t - t')\phi\left[\frac{1}{\beta}\ln\left(\frac{\mu}{\chi}\right)\right]$$

"g" diminuisce in "b" in modo che maggiore è il capitale di prevenzione, minore è la perdita. Oltre alle perdite di vite umane ed alle conseguenze economiche, post sisma può essere rilevante calcolare il numero di sfollati che potrebbero potenzialmente richiedere alloggi pubblici temporanei, in quanto, è responsabilità del governo locale fornire una sistemazione momentanea ai cittadini che ne hanno bisogno. La decisione delle persone colpite di lasciare la propria dimora è influenzata principalmente da due aspetti: uno relativo all'impatto del terremoto sull'infrastruttura fisica (ambiente edificato, reti stradali, acqua, elettricità, gas, ecc.) e l'altro dalle caratteristiche socioeconomiche e demografiche. Su questo tema sono stati condotti diversi studi che hanno portato allo sviluppo di numerose metodologie. Alcuni ricercatori della Scuola Superiore Universitaria IUSS di Pavia, con un'analisi della letteratura [130] hanno confrontato i diversi metodi proposti. Nello specifico hanno analizzato *SYNER-G e MCEER,* due modelli in grado di simulare il processo decisionale delle famiglie nella ricerca di un rifugio sulla base della loro condizione abitativa, percezione del rischio, mobilità e

risorse. Il primo è il più conosciuto ed è un codice MATLAB open source, fornisce input per il framework di "analisi decisionale multicriterio" (MCDA) che utilizza per simulare il processo decisionale sulla base dei fattori sopra menzionati i quali sono ponderati e combinati. Altri due metodi che i ricercatori della IUSS hanno presentato come i più promettenti in quanto più completi e robusti sono:

- *HAZUS-MH,* una piattaforma software basata su un sistema di informazioni geografiche che fornisce i risultati relativi ai possibili richiedenti alloggio in funzione della popolazione sfollata (solo a causa di danni strutturali) moltiplicata per un fattore che tiene conto della loro età, proprietà, etnia e reddito;

- *ERGO-EQ*, una piattaforma sviluppata presso il Mid-America Earthquake Center per stimare dati importanti per la risposta ai disastri sismici. Il modello, come HAZUS-MH, è caratterizzato da due operazioni consecutive: la stima del numero di sfollati ed il seguente calcolo delle persone bisognose di rifugi pubblici ma è considerato più sofisticato in quanto utilizza diverse probabilità di stato di danno per stimare il numero di famiglie sfollate. Si basa su un approccio di regressione logistica in funzione del danno economico diretto.

Altri strumenti che possono essere utili in queste fasi di gestione post sisma sono:

- *ShakeMap:* mappe di scuotimento che forniscono un'immediata visualizzazione del livello di movimento di una zona interessata da un terremoto riportando anche i valori di picco registrati da accelerometri e sismometri.
- *LandScan*: il database della distribuzione della popolazione globale che può fornire dati utili per i calcoli.

Uno strumento che invece potrebbe essere utilizzato soprattutto in fase di ricostruzione (ma anche in quella di prima emergenza) è la *Microzonazione* sismica ovvero una mappa che individua e caratterizza le zone stabili, quelle suscettibili di amplificazione locale e quelle soggette ad instabilità a causa di possibili frane, rotture della superficie per faglie e liquefazioni dinamiche del terreno. Tale strumento permette di dedurre i possibili effetti locali indotti da un evento sismico su un territorio. Può essere utilizzato per: scegliere aree e strutture di emergenza ed edifici strategici in zone stabili, fornire elementi sull'opportunità di ricostruire gli edifici non agibili e contribuire nella scelta di nuove aree edificabili.

Guardando agli sviluppi più innovativi, uno studio di Jiao P. e Alavi A.H. (2020) [116] riporta che le tecniche dell'Intelligenza Artificiale stanno dimostrando performance soddisfacenti nel rilevamento, elaborazione ed analisi dei dati sismici. Questo è dovuto alle grandi quantità di dati sempre più complessi da trattare e alla necessità di maggiore precisione ed efficacia, in particolare in termini di riduzione dell'influenza del rumore e del rilevamento anche dei terremoti più piccoli e frequenti. Tra le varie tecniche messe in pratica quella che ha guadagnato il maggiore hype è il Deep Learning per la capacità di estrarre autonomamente e direttamente le caratteristiche dai dati grezzi. Attualmente, il DL è utilizzato soprattutto per monitorare e localizzare i terremoti, determinare il tempo di arrivo dell'onda P e le polarità del primo movimento. Le aspettative di nuovi sviluppi futuri secondo i due studiosi, autori della ricerca, si possono concretizzare nell'affiancamento del DL a ragionamenti complessi per studiare nuove relazioni di grande portata come il collegamento tra i terremoti ed il cambiamento climatico. Inoltre, essi dichiarano che il DL può essere utilizzato per impostare stati limite autoregolabili (ad esempio in funzione della frequenza e del periodo di tempo degli eventi sismici) per ridurre il rumore, può diminuire la dissipazione di energia dei sensori di monitoraggio e migliorare la

trasformazione dei dati per il rilevamento. Infine, nello studio condotto, essi espongono la propria visione sugli sviluppi futuri: i sistemi di monitoraggio sismici potrebbero essere integrati alla piattaforma IOT per incrementare la diffusione e condivisione delle informazioni e creare una rete globale intelligente in cui il DL può efficientemente essere utilizzato in tempo reale.

Uragani

Strumenti e metodi di predizione del rischio
Monitoraggio mediante griglie computazionali ad alta risoluzione e modelli di circolazione bidimensionale con profondità limitata, accoppiati a sofisticati modelli di onde, ecc.

Nel tempo sono stati registrati progressi significativi nella caratterizzazione di eventi come gli uragani, in particolare in termini di geometria costiera, percorsi e varie metriche delle tempeste. Specificatamente, i migliori strumenti di cui oggi si dispone sono le griglie computazionali ad alta risoluzione ed i modelli di circolazione bidimensionale con profondità limitata accoppiati a sofisticati modelli di onde. Questi, sono stati applicati ad insiemi di ipotetici uragani per sviluppare set di dati distribuiti sulle ondate di tempesta, da affiancare a metodi di probabilità congiunti, per definire il potenziale del pericolo. Tuttavia, vi è una crescente preoccupazione relativa alla non stazionarietà degli uragani e delle inondazioni che si manifesta nel cambiamento nelle medie a lungo termine. La non stazionarietà è spesso associata al cambiamento climatico ma dipende anche da altre variazioni: dell’uso del suolo, della popolazione e dei valori delle proprietà. Un'opzione applicabile in questo caso per gestire i dati limitati, l’incertezza e la non stazionarietà è l'analisi dello scenario.

Monsoni

Strumenti e metodi di predizione del rischio
Monitoraggio attraverso il tracciante Berillio-7

Un metodo empirico [113] dimostra la possibilità di prevedere l'inizio, il ritiro e l'intensità della stagione dei monsoni sulla base dei dati del Berillio-7 raccolti a livello globale. Il Berillio-7 è un tracciante che può essere utilizzato per monitorare l'intensità dello scambio stratosfera - troposfera, che varia in base al ciclo annuale della circolazione atmosferica globale. L'inizio può essere predetto con una precisione senza precedenti di ± 3 giorni, 2 mesi in anticipo rispetto a 1/3 settimane in anticipo dei modelli tradizionali. L'applicazione di questo nuovo metodo consentirà una migliore preparazione agli impatti economici e naturali della stagione dei monsoni in India e ad altre regioni. Il Berillio-7 è uno degli isotopi regolarmente rilevati dalla rete di monitoraggio dei radionuclidi della Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization (CTBTO). Un aumento del Berillio-7 a livello della superficie è un indicatore di un flusso verticale verso il basso delle masse d'aria. Pertanto, un aumento o una diminuzione generale della sua concentrazione nel tempo può essere utilizzato come proxy per monitorare il movimento stagionale e le dinamiche generali delle cellule atmosferiche come le zone di convergenza di Hadley-Ferrel (HFCZ).

3.10.2. Finanza e commercio

Strumenti e metodi di predizione del rischio
Indicatori che superano le soglie critiche (elevato rapporto credito / PIL, elevata leva finanziaria, ecc.), bolle speculative e bassa volatilità (induce ad assumere più rischi)

Intelligenza Artificiale per le attività di gestione e supervisione finanziaria quotidiana da parte delle autorità microprudenziali e delle aziende e per le attività di regolamentazione e di supervisione di applicazione delle normative
Strumenti e metodi di gestione delle crisi
Prevenzione mediante riserve di capitale anticicliche secondo la teoria del modello del ciclo economico di Minsky
Le grandi istituzioni vanno sostenute e salvate, non farlo sarebbe controproducente per gli effetti di rete
Politiche monetarie non convenzionali come il quantitative easing, credit-easing, forward guidance, tassi ufficiali negativi ecc.

Numerose sono le crisi finanziarie che si sono succedute sino ad oggi, pertanto, il fenomeno dello shock finanziario è stato studiato e molto è stato appreso in termini di gestione del rischio. Di seguito sono riportate le considerazioni, a riguardo, di alcuni ricercatori del Dipartimento di Management, London School of Economics and Political Science pubblicate nello studio Antetomaso A. et al., (2018) [129]. Innanzitutto, è importante comprendere i legami tra il sistema finanziario e l'economia reale, monitorare l'accumulo di eccessi finanziari e verificare che gli enti economici dispongano di liquidità e capitale a sufficienza. Devono essere evitate bolle speculative ed eccessi di leva finanziaria, la storia insegna che ogni crisi finanziaria tende ad essere seguita da una ancora più grave poiché per superare un momento di grande difficoltà solitamente è emesso del debito che nel lungo periodo aggrava ancora di più la situazione. Oggi, sia il debito pubblico che quello privato hanno valori in media più alti rispetto a prima della crisi finanziaria globale ma, tuttavia, il sistema è sostenibile (in parte grazie al costo del servizio del debito che è stato più basso). Una delle principali criticità che si affrontano nella gestione del rischio finanziario è la modellazione delle interdipendenze ed interconnessioni tra gli enti e le transazioni. Il contagio tra le istituzioni finanziarie può essere diretto, include le perdite dovute al fallimento di una controparte o indiretto, può avvenire attraverso una varietà di canali tra cui:

fire sales ed esposizioni comuni, informazioni e complementarità strategiche. I metodi di analisi del rischio sistemico hanno cercato di cogliere l'effetto di questi collegamenti in modi diversi tanto che si distinguono oltre trenta misure quantitative, all'interno di cinque categorie che vanno dalla distribuzione di probabilità (statistica) a misure di analisi di rete o macroeconomiche. Secondo la *teoria del modello del ciclo economico di Minsky* la fragilità del sistema economico aumenta nei tempi buoni. Infatti, una visione ciclica del rischio sistemico mostra che durante i boom espansivi, i vincoli di finanziamento sono più flessibili, gli intermediari possono accumulare leva finanziaria e le valutazioni delle attività sono più elevate. Al contrario, durante le contrazioni economiche i prestatori di denaro diventano altamente avversi al rischio. Pertanto, è nei periodi di crescita e ripresa che vanno implementate le maggiori accortezze nella prevenzione del rischio. Attualmente, le autorità di regolamentazione hanno incaricato le banche di implementare *riserve di capitale anticicliche* che devono essere aumentate in tempi favorevoli per essere svuotate in quelli difficili.

Per capire come sono gestite le crisi finanziarie è necessario conoscere quali scenari sono soliti verificarsi. Generalmente, durante uno shock vi sono da una parte le banche che se sono danneggiate e non hanno capitale iniziano a ridurre in modo dannoso la disponibilità di credito e d'altro canto il settore privato (le famiglie e le imprese) che se ha troppo debito decide di spendere di meno. Lo stato per sostenere le famiglie in difficoltà può ridurre i loro debiti per renderli più sostenibili, così che possano spendere di nuovo però, se ad esempio si consente un default sui mutui, il rischio è che la condizione finanziaria delle banche diventi ancora più grave e le renda più restie alla concessione di credito. Ne consegue che durante una crisi la scelta dell'azione di supporto da parte dello stato non è scontata ma spesso genera un dibattito. Gli avvenimenti passati, tuttavia, mostrano che nel mezzo di una crisi le grandi istituzioni vanno sostenute e salvate e che non farlo sarebbe controproducente. Le banche sono "troppo grandi per fallire", hanno

connessioni che innescherebbero dannosi effetti di rete. Si è notato, inoltre, che le politiche convenzionali monetarie possono rapidamente cedere il passo a quelle non convenzionali tra cui: *quantitative easing, credit-easing, forward guidance, tassi ufficiali negativi* e così via. Questi strumenti sono utilizzati ormai da un decennio e stanno diventando più usuali tanto che le banche centrali sono oggi considerate le uniche in grado di rispondere alle grandi crisi in modo significativo.

Per quanto riguarda la predizione, sebbene la maggior parte degli indicatori consideri un'osservazione di elevata volatilità un segnale, tale allarme arriva troppo tardi quando lo shock è già in corso. Un avvertimento migliore è fornito dalla bassa volatilità che può essere utilizzata come indicatore affidabile, a sostegno del motto che "la stabilità è destabilizzante" [144] [119]. Infatti, una bassa volatilità per un periodo prolungato porta a frequenti assunzioni di rischi, misurati come elevato rapporto credito / PIL e leva finanziaria, con conseguenti investimenti più rischiosi [144]. Inoltre, uno strumento che potrebbe essere utilizzato è l'*Intelligenza Artificiale* in quanto nelle attività finanziarie vi sono alcune funzioni per le quali è naturalmente adatta ed a cui può promettere significativi risparmi sui costi ed aumenti dell'efficienza operativa. Tra queste, vi sono molte mansioni di gestione e supervisione finanziaria quotidiana da parte delle autorità microprudenziali/aziende ed attività di regolamentazione e supervisione dell'applicazione delle normative. Oggi, infatti l'Intelligenza Artificiale viene applicata per prevedere i rischi finanziari di frode, di credito ed il fallimento aziendale. Esempi concreti di applicazioni sono: Commonwealth Bank che la usa per prevedere le possibili attività fraudolente sulle transazioni prima che vengano autorizzate (entro 40 millisecondi dall'inizio della transazione) e molte aziende che la usano per identificare e classificare i clienti, prevedere il loro comportamento ed intuire quali saranno insolventi [58]. Tuttavia, molti sono i limiti ed i problemi dell'Intelligenza Artificiale come la prevedibilità che è insita negli algoritmi e che in realtà, non le consentirebbe una buona funzione di

regolatore perché rischia attacchi esterni o di essere aggirata. Però, se il motore è realizzato apposta in continua evoluzione e mutazione e se può sperimentare contro gli agenti esterni, così da imparare come ragionano, riuscirà ad indebolire i loro attacchi. Altri limiti invece non sono così semplici da superare, l'Intelligenza Artificiale infatti non si presta bene a trattare il rischio endogeno. Pertanto, se non come supporto, non si applica allo studio del rischio finanziario a livello sistemico per non rischiare di perdere di realisticità. Secondo Danielsson J. et al., (2017) [100] questo è aggravato dal fatto che l'Intelligenza Artificiale non consente la possibilità di entrare in dialogo con la macchina come farebbe un comitato per la stabilità finanziaria nel consultare i suoi esperti, per cui, le autorità finanziarie dovrebbero approvare il risultato per fede [142]. Il che è molto improbabile che sia accettato, anche perché c'è un gran numero di obiettivi intermedi che cambiano continuamente e spesso sono in conflitto l'uno con l'altro e il sistema finanziario è frammentato in più agenzie nazionali ed internazionali, ciascuna cooperante ed in concorrenza tra loro, per cui questi potrebbero deliberatamente nascondere le informazioni e deviare i risultati. Inoltre, vi sono pochi dati per addestrare la macchina perché le crisi sistemiche non sono frequenti (per i paesi OCSE sono una ogni 42 anni) e quindi la struttura del sistema finanziario tra una e l'altra potrebbe essere cambiata. Infine, l'Intelligenza Artificiale porta inevitabilmente ad una maggiore omogeneità poiché favorisce le migliori pratiche e modelli standardizzati di "best-of-breed" che si assomigliano molto dato che solitamente c'è solo una sola soluzione ottimale per un set di dati. L'omogeneità, però, in finanza è uno dei principali fattori di instabilità capace di amplificare il rischio sistemico [142].

3.10.3. Geopolitica e società

Guerre e conflitti armati

Strumenti e metodi di predizione del rischio
Il potere di più stati cambia direzione di tendenza (teoria del ciclo di potere misurabile mediante indicatori come CINC, Global Power Index, Modello IF, ecc. e teoria del ciclo di alimentazione)

Alla base del rischio di conflitto tra le principali potenze globali vi è il cambiamento nella distribuzione del potere globale. Quest'ultimo può essere mappato con la teoria del ciclo di potere e misurato con diversi potenziali indicatori. Secondo uno studio [101] del RAND (Homeland Security and Defense Center), il più utilizzato è identificato con l'acronimo *CINC* (Composite Index of National Capability) ed include: popolazione totale ed urbana, personale e spese militari, consumo di energia primaria e ferro e produzione di acciaio. Questi fattori riflettono l'ampiezza e la quantità delle risorse che una nazione potrebbe impiegare in caso di conflitti. Tuttavia, oggi, altri fattori stanno diventando rilevanti e vanno quindi considerati in aggiunta, come: la potenza di supercalcolo, l'abilità in ricerca e sviluppo, la produzione di energia, la capacità di progettare la forza militare o la resilienza al cambiamento climatico. Un esempio di nuovo indice abbastanza completo è il *Global Power Index (GPI)*, sviluppato sotto gli auspici della National Intelligence Council che include: misure militari, economiche, tecnologiche, capacità politica e demografica delle nazioni. Il Futures International lo ha incorporato nel suo framework di modellazione (Modello IF) e lo ha utilizzato per creare previsioni al 2050. Il *modello IF* include i cicli di feedback tra i diversi fattori nel tentativo di riflettere gli effetti sistemici e questi cicli di feedback coinvolgono parametri di input che i modellisti devono impostare per avvicinarsi alla rappresentazione della realtà. Generalmente, nel

misurare il livello di potere di una nazione, i ricercatori devono decidere se concentrarsi sulle capacità assolute o relative e la modellazione corretta dipende dallo scopo. Quando si considerano questioni intrinsecamente competitive come il rischio di guerra tra Stati, sono preferite misure relative, in altri casi come nello studio delle capacità delle nazioni di favorire la salute e le opportunità economiche per i loro cittadini, i livelli assoluti sono più informativi. Un indicatore che misura il potere relativo è il GPI, il quale confronta l'autorità di ogni stato rispetto a quello del mondo nel suo insieme. Per poter predire una guerra od un conflitto può essere utilizzato il GPI od un'altra misura quantitativa del potere all'interno di un modello teorico che valuti la probabilità di accadimento sotto diverse distribuzioni del potere globale e quindi in diversi scenari. Ci sono molti modelli che si possono utilizzare per questo scopo, tra cui la *teoria del ciclo di alimentazione*. Quest'ultimo è relativo ai cambiamenti di potere a lungo termine e si basa sulla teoria che afferma che: le guerre più grandi tendono a verificarsi quando più potenze simultaneamente attraversano momenti critici, ovvero, quando la propria crescita cambia direzione di tendenza rispetto agli altri stati, decelerando o accelerando. Da cui consegue che i tassi irregolari di crescita tra gli stati possono essere la causa di squilibri sistemici. Nella letteratura vi sono opinioni differenti su quali tassi di crescita contano di più, alcuni si concentrano esclusivamente su indici di crescita economica mentre altri su indici più ampi che includono la popolazione.

Terrorismo

Strumenti e metodi di predizione del rischio
Intelligenza Artificiale per mappare gli individui ed i loro comportamenti ed identificare le variabili di allerta

Gli attacchi terroristici sono molto complessi da prevedere in quanto, così come in quelli cyber, possono essere guidati da persone, motivi ed obiettivi diversi ogni volta. Uno strumento che prossimamente potrebbe aiutare a prevedere chi è potenzialmente incline a commettere un crimine od un attacco è *l'Intelligenza Artificiale*. L'idea che sta alla base è di identificare gli attributi ed i comportamenti e le relative combinazioni che possono portare un individuo a commettere un crimine ed identificare quelli che li posseggono tramite il tracciamento della popolazione e la raccolta di dati di massa [102].

3.10.4. Salute ed Umanità

Strumenti e metodi di predizione del rischio
Intelligenza Artificiale per scoprire le variabili e le correlazioni che possono determinare maggiore o minore vulnerabilità e per identificarle nei pazienti
Strumenti e metodi di gestione delle crisi
Regolamento sanitario internazionale "IHR" e la partnership ed il piano d'azione "GHSA"
Prevenzione tramite l'implementazione dei cinque miglioramenti negli ambiti: viaggi e turismo, catena di fornitura e logistica, legale e regolamentare, comunicazioni ed innovazioni nei dati
Raccolta e diffusione di dati solidi ed affidabili e gestione della disinformazione

In uno scenario di pandemia, le istituzioni sanitarie pubbliche dovrebbero affrontare il rapido e grande afflusso di pazienti, gli scienziati si affretterebbero ad identificare la malattia sconosciuta, flussi di persone e merci sarebbero coinvolte ed i leader politici dovrebbero operare per contenere la diffusione dell'agente patogeno e della disinformazione. Una pandemia potrebbe essere più mortale delle guerre mondiali e portare a conseguenze sociali, economiche e politiche catastrofiche. Infatti, la diffusione della malattia implica il

reindirizzamento di molti fondi alla propria gestione, aumenta i costi sanitari individuali, influisce negativamente sul commercio e sul turismo, aggrava la fuga di capitali e diminuisce il PIL. Ne consegue che le malattie infettive devono rimanere una priorità della sicurezza sanitaria globale, nel tempo sono stati fatti progressi nell'identificare, trattare e prevenire molte di queste ma sorgono costantemente nuove minacce e varianti. Oggi la rapida urbanizzazione, la maggiore connettività, gli aumenti del commercio, viaggi, densità della popolazione, sfollamento umano, migrazione e deforestazione nonché il cambiamento climatico ci rendono ancora più vulnerabili. E' iniziata una nuova era a rischio di epidemie. Il numero e la diversità degli eventi epidemici sono aumentati negli ultimi 30 anni (una tendenza che dovrebbe intensificarsi) e la sicurezza sanitaria non ha tenuto il passo. L'OMS [31] ha adottato il Regolamento Sanitario Internazionale (IHR) nel 1951, successivamente, sono state apportate revisioni espansive per comprendere temi di anticipazione, vigilanza costante e massima allerta con un focus sull'emergenza e la capacità di agire rapidamente nel caso in cui si verifichi una crisi. L'IHR espanso e legalmente vincolante ha inoltre ampliato i tipi di eventi che vengono segnalati all'OMS ed oggi affronta anche le minacce di incidenti industriali, disastri naturali e conflitti. Nel 2014, il Gruppo dei Sette (G7 [18]) hanno approvato *GHSA*, una partnership ed un piano d'azione tra quasi 50 paesi, agenzie non governative ed organizzazioni internazionali. Questo, in congiunzione con l'IHR, richiede ai paesi di segnalare determinate malattie, epidemie ed eventi di salute pubblica all'OMS. Tuttavia, secondo uno studio [103] condotto dal RAND (Homeland Security and Defense Center), ancora permangono lacune significative nel tradurre in azione l'enfasi sulla sicurezza sanitaria globale. Infatti, i finanziamenti si limitano a determinati episodi, sono una tantum ed in diminuzione mentre in parallelo si registra

[18] Canada, Francia, Germania, Italia, Giappone, Regno Unito e Stati Uniti

l’aumentano delle minacce acute. In particolare, si evidenziano due ampie categorie di principali minacce:

- Rischi da problemi a progressione lenta, le cui conseguenze a lungo termine sono sottovalutate. Queste minacce potrebbero ricevere un'attenzione insufficiente fino a quando non sarà troppo tardi per agire o riparare il danno. Ad esempio, le società potrebbero essere destabilizzate dalla maggiore prevalenza di disturbi mentali, comportamentali e da malattie croniche. Qui, diventa difficile stimare l'entità del problema non solo dal punto di vista psicologico ma anche sociale ed economico. Oppure, un altro esempio è l’AMR, la resistenza antimicrobica, la quale ha un elemento di temporalità diverso da molti sistemi tradizionali di sicurezza sanitaria globale e potrebbe portare ad una "distruzione ritardata";

- Le tecnologie emergenti con applicazioni biotecnologiche (ad esempio: intelligenza artificiale e medicina di precisione) sebbene abbiano un grande potenziale per portare progressi nella sicurezza sanitaria, presentano anche una serie di minacce per la salute. Tra queste, ogni settore potrebbe essere interessato dalla loro interruzione o pervasività oppure dalla violazione della sicurezza dei dati (questi potrebbero infatti essere sfruttati da un paese antagonista per capire dove una società ha vulnerabilità di salute maggiori così da poter sferrare un più potente bio-attacco);

Un approccio olistico a tali preoccupazioni che ha acquisito crescente importanza nell'ultimo decennio è la pratica di One Health. Tale strumento coglie la necessità di risposte integrate ai problemi di salute, anche se per alcuni è diventata una frase generica che comprende molte questioni ma manca di una coesione sufficiente attorno a preoccupazioni fondamentali. Sicuramente, nella gestione di una crisi dati solidi ed affidabili sono fondamentali per un’efficace risposta, in particolare, per la mappatura della malattia e per l’intervento. Anche perché maggiori

difficoltà di gestione sono date dai social media che possono amplificare la diffusione della disinformazione ed indurre paranoia e caos. Infatti, la generazione più rapida di una contromisura medica farà poca differenza se la disinformazione e le cospirazioni che la circondano abbondano. Inoltre, va considerato che, a prescindere dai vincoli di risorse, la sicurezza sanitaria globale che include il monitoraggio e la messa in quarantena delle persone, non deve andare a scapito degli sforzi per promuovere la salute pubblica globale, il benessere ed i diritti dell'uomo, inclusa la riduzione della povertà ed il miglioramento della nutrizione. Vi sono cinque ambiti che affrontano le sfide alla cooperazione tra pubblico - privato, su cui è fatto affidamento per un'efficace prontezza:

- *Viaggi e turismo* - deve essere migliorato il processo decisionale, il coordinamento e le comunicazioni, in materia di rischi, avvisi di viaggio e misure di frontiera.
- *Catena di fornitura e logistica* - deve essere garantito che le materie prime strategiche siano sempre disponibili ed accessibili.
- *Legale e regolamentare* - devono essere convocate consultazioni di esperti per affrontare le barriere legali e normative associate all'uso di prodotti sperimentali durante le epidemie.
- *Comunicazioni* - è necessario sviluppare migliori capacità comunicative, di gestione delle voci e della disinformazione e di amplificazione delle informazioni affidabili per supportare avvisi pubblici di emergenza.
- *Innovazioni nei dati* - deve essere garantito che i dati siano condivisi in modo conveniente, disponibili prontamente ed applicati strategicamente per la risposta alle epidemie.

Infine, è rilevante considerare il ruolo dell' *Intelligenza Artificiale* in quanto oggi possiamo utilizzare strumenti sofisticati per sfruttare apparentemente dati non

correlati e prevedere chi è più suscettibile alle complicazioni alla nascita od a malattie croniche e dove e quando un'epidemia virulenta è maggiormente probabile che si sviluppi. Con queste informazioni, i funzionari della sanità pubblica dovrebbero essere capaci di rispondere prima che il problema si manifesti ed essere più pronti [102].

3.10.5. Tecnologia e spazio

Cybersecurity

Strumenti e metodi di predizione del rischio
Analisi in tempo reale di tutto il traffico di rete e monitoraggio degli elementi che la compongono, delle attività di ogni utente e dei dispositivi connessi, (anche tramite l'Intelligenza Artificiale)
Strumenti e metodi di gestione delle crisi
Prevenzione mediante sottoscrizione di contratti assicurativi, adozione di kernel collaudati, isolamento logico completo dai sistemi esterni di comunicazione, impiego di componenti non standardizzati, installazione di antivirus, esecuzione di backup ecc.
Prevenzione attraverso la formazione dei dipendenti (fatta ad esempio secondo le policy di sicurezza informatica aziendale)
Normative e quadri legali tra cui: GDPR, DPA 2018, NIS, CCPA ed altri.

La cybersecurity è l'insieme di tutte quelle tecnologie utili a proteggere un computer od un sistema informatico da attacchi che possono portare alla perdita od alla compromissione di dati. L'obiettivo centrale è conservare la riservatezza, l'integrità e la disponibilità delle informazioni tenendo in considerazione la correlata necessità di operatività per il raggiungimento degli obiettivi di business. Il rischio di sicurezza informatica rappresenta una sfida considerevole ed il fallimento potrebbe ostacolare l'innovazione e lo sviluppo. Il problema della

cybersecurity è che il rischio deriva da azioni dolose di attori intelligenti le cui minacce, motivi, modalità ed obiettivi degli attacchi cambiano continuamente. Ne consegue che è difficile capire quale di un insieme quasi infinito di potenziali bersagli sarà colpito. Le conseguenze di un attacco possono essere: perdita di dati, indisponibilità dei sistemi IT ed interruzione delle operazioni che possono condurre un'azienda ad accusare perdite reputazionali, economiche dirette o di interruzione dell'attività e/o di responsabilità civile verso i clienti o terzi. In aggiunta, vi è l'incertezza sugli effetti di rete in quanto, i computer possono essere collegati ad altri computer e dispositivi quindi, possono esserci danni multipli di intrusioni a cascata. Una delle maggiori preoccupazioni per i difensori è il rischio derivante dalle vulnerabilità zero-day [104] sulle quali, per definizione, non si dispone di informazioni esistenti poiché la prima volta che un utente viene informato dell'exploit è il giorno in cui un hacker lo attacca.

Un software di largo consumo non sarà mai completamente affidabile, il che ha portato all'idea di suddividere i *sistemi in piccoli sottoelementi sicuri* che funzionano con un insieme più ampio di elementi insicuri, alla necessità per tutte le aziende di *sottoscrivere contratti assicurativi* e nei casi più estremi all'adozione di *metodi avanzati* quali: kernel collaudati, isolamento logico completo dai sistemi esterni di comunicazione, ecc. ma è molto costoso [105]. I bersagli degli attacchi possono essere le infrastrutture critiche di una società, in questi casi si tratta di "attacchi cyber-fisici". Un hacker può mirare specificamente a falsificare i sensori con dati falsi, disconnettere i dispositivi chiave necessari per le normali operazioni e controllare direttamente i componenti fisici. Oltre agli attacchi remoti, esiste anche la possibilità che gli intrusi colleghino fisicamente una piattaforma di attacco hardware non autorizzato alla rete locale di una sottostazione. Tradizionalmente, in una rete di infrastrutture, quelle più vulnerabili sono quelle locali in quanto non godono di significative procedure di sicurezza informatica e fisica a differenza delle strutture della rete che si trovano

più in alto nella gerarchia. Tuttavia, è difficile disabilitare completamente un gran numero di sottostazioni, ovvero scalare un attacco, poiché le vulnerabilità sono specifiche dei tipi di hardware, software e di tutti i componenti di sicurezza che devono essere superati per consentire a un piano di avere successo. Pertanto, maggiore è la *diversità tra le strutture* minore e più difficile è per la loro vulnerabilità generare un problema su vasta scala. Infatti, la scalabilità di un attacco dipende dalla standardizzazione dei componenti e dei sistemi [104]. Sebbene non vi siano molti esempi di attacchi informatici a sistemi di infrastrutture critiche, si derivano i potenziali impatti socioeconomici del fallimento sulla base di quelli dovuti ad altre minacce con effetti simili.

Il primo passo verso la cybersecurity in azienda è la *formazione dei dipendenti* [106] affinché acquisiscano consapevolezza delle proprie azioni e delle conseguenze che possono avere sul sistema. Uno strumento che può essere utilizzato in tale fase è la *policy di sicurezza informatica aziendale* che contiene tutte le disposizioni, i comportamenti e le misure organizzative che gli impiegati ed i collaboratori esterni devono seguire per contrastare i rischi informatici. I passi successivi prevedono: *l'installazione di antivirus, l'esecuzione di numerosi backup e la definizione di una strategia di sicurezza informatica* ovvero di un piano di gestione della crisi che preveda anche lo scenario peggiore (quello in cui vengono compromesse risorse importanti per il cliente). Nel definire le proprie strategie di gestione del rischio informatico le aziende devono conoscere numerose *normative* e quadri legali tra cui: GDPR (General Data Protection Regulation), DPA (Data Processing Agreement) 2018, NIS (Network and Information Security), CCPA (California Consumer Privacy Act) e molti altri [107]. Alcuni esempi di obblighi che sono stati introdotti da questi regolamenti, riportati in un articolo [106] pubblicato sul sito internet "DigitalHive", sono: il dover notificare al Garante per la protezione dei dati personali entro 72 ore qualsiasi data breach che sia per gli individui potenzialmente dannoso e, per

alcune tipologie di aziende private, nominare il DPO (Data Protection Officer) ovvero una nuova figura professionale che supervisiona l'intera politica di gestione del trattamento dei dati. Secondo quanto pubblicato [108] dal sito "CyberSecurity360", ad oggi, molte aziende per la protezione dei propri processi fanno affidamento ad un Security Operation Center (SOC) che effettua un'attività continua di monitoraggio attraverso i *sistemi SIEM* (Security Information and Event Management). Quest'ultimi, in alcuni casi possono prevenire gli attacchi e permettono di controllare il sistema, attraverso l'aggregazione dei log [19]. Nel dettaglio, adottano tecniche basate sull' Intelligenza Artificiale con cui rilevano URL, indirizzi IP e hash di file, i quali sono stati individuati come indici di compromissione e che vengono utilizzati come "attivatori" di indagini più approfondite. In alternativa alle più evolute soluzioni SIEM, è possibile inoltre adottare un sistema *EDR* (Endpoint Detection Response) che consente, attraverso il controllo della telemetria delle singole macchine, di attuare processi di individuazione e risposta estremamente efficaci. In quest'ultimo, l'attività (gestita da remoto) permette di controllare i sistemi attraverso una logica simile a quella del SIEM, analizzando l'attività su ogni singolo endpoint [20] per individuare tempestivamente gli indicatori di compromissione ed avviare le analisi necessarie per capire se è in corso una violazione. Oggi, i migliori software di protezione globale per le aziende ricorrono all'analisi in tempo reale di tutto il traffico di rete ed al monitoraggio delle attività di ogni utente, dispositivo connesso alla rete ed elemento che costituisce la rete. La rilevazione di una minaccia avviene in diversi modi ed è sempre più utilizzata *l'Intelligenza Artificiale*. Quest'ultima, è soprattutto impiegata per l'analisi in tempo reale degli accessi facendo leva sulla capacità dei sistemi di apprendere in modo automatico (studiando lo storico degli accessi a piattaforme ed applicazioni) come si evolvono i comportamenti degli

[19] Registrazione sequenziale e cronologica delle operazioni effettuate, da un utente, un amministratore o automatizzate, man mano che vengono eseguite dal sistema o applicazione
[20] Qualsiasi dispositivo che possa connettersi a Internet, sia fisicamente che in cloud

utenti e le minacce esterne. La tecnologia si sta muovendo velocemente per stare al passo, ma non è chiaro se le organizzazioni applichino le migliori tecniche disponibili [109]. Ciò, può essere dovuto alle potenziali difficoltà tecniche (di misurazione degli impatti finanziari, di valutazione corretta della propria esposizione, ecc.), ai costi coinvolti ed alla mancanza di incentivi e requisiti da parte delle istituzioni di definizione degli standard, dei regolatori e degli assicuratori. Inoltre, la sicurezza informatica deve essere dinamica ed olistica ma la collaborazione tra i diversi attori (governi ed autorità di regolamentazione, agenzie di certificazione, per la protezione dei dati, produttori, società di tecnologia e sicurezza, fornitori di servizi, operatori di telecomunicazioni, assicurazioni ed associazioni di utenti) è ancora poco sviluppata. Infine, il grande numero di enti coinvolti e la presenza di asimmetrie informative comporta la difficoltà d'identificazione delle responsabilità di ognuno nel caso di un danno od attacco.

Incidenti industriali e guasti alle infrastrutture

Strumenti e metodi di predizione del rischio
Monitoraggio in tempo reale delle macchine, dei processi e delle infrastrutture critiche tramite sensori e sistemi di controllo automatico ed identificazione degli allarmi in seguito al superamento di soglie e valori prefissati come critici (da esperti o tecniche dell'apprendimento automatico)
CNN per estrarre automaticamente dalle immagini del sistema le caratteristiche che ne rappresentano il comportamento di degrado e lo stato di salute + MLP per ottenere la localizzazione e la quantificazione dei danni
Esecuzione di migliaia di simulazioni PRA dinamiche ed aggregazione dei risultati e convalida a livello di sistema mediante Reti Bayesiane

La categoria di rischio "incidenti industriali" comprende molte minacce e scenari che sono gestite con tecniche specifiche per settore industriale o tipologia di azienda. Tuttavia, si può illustrare il trend generico che ne guida gli sviluppi.

Oggi, la gestione del rischio industriale prevede il coinvolgimento e la collaborazione di tutto il personale, per il quale è necessaria un'apposita *formazione,* e l'utilizzo combinato di *sensori e sistemi di controllo automatico* sempre più sofisticati. Le aziende dispongono di strumenti per controllare i processi e le macchine e per eseguire diagnosi in tempo reale o in tempo molto breve così da poter identificare le vulnerabilità e porvi rimedio prima che si verifichi un disastro. Un esempio, secondo lo studio [104] del Cambridge Centre for Risk Studies, è il sistema informatico distribuito *SCADA* (Supervisory Control And Data Acquisition) impiegato per il monitoraggio e la supervisione di sistemi fisici. Specificatamente, SCADA acquisisce, processa ed archivia una grande quantità di dati provenienti dai sensori distribuiti all'interno dell'impianto e grazie ad interfacce utente, ottimizzate ed intuitive, rappresenta graficamente tutto il processo produttivo, tiene sotto controllo i valori ed i parametri fondamentali dei macchinari ed emette allarmi sonori nel caso ci siano delle anomalie. Una tecnica sofisticata che permette di eseguire diagnosi di un sistema ed analizzarne in tempo reale lo stato, consiste nell'utilizzo di *reti neurali convoluzionali (CNN)*. Queste, sono state recentemente proposte [110] per supportare le azioni preventive tramite l'estrazione automatica, dalle immagini generate dalle funzioni di trasmissione della struttura, delle caratteristiche che rappresentano al meglio il comportamento di degrado e lo stato di salute delle macchine. Tali caratteristiche successivamente possono essere inserite in un *perceptron multistrato* (tipo di classificatore binario utilizzato nell'apprendimento automatico) per ottenere la localizzazione e la quantificazione del danno. Altre tecniche, utilizzate in applicazioni a sistemi ingegneristici complessi fanno una diagnosi in tempo reale del sistema mediante l'esecuzione di migliaia di *simulazioni PRA* (valutazione probabilistica del rischio) dinamiche [111]. Quest'ultime, in casi delicati come, ad esempio, quello di una centrale nucleare devono essere ad alta fedeltà e necessitano di verifiche e convalide. Per valutare quantitativamente una simulazione a livello di sistema si possono utilizzare le Reti Bayesiane, applicandole alle informazioni disponibili

dalla convalida a livello di componente, sulla base dalle funzioni di densità di probabilità sperimentali e della simulazione dei parametri di base o degli eventi di base [143]. Da queste, le reti propagano il rischio al sistema in un quadro probabilistico efficiente, utilizzabile per successive decisioni a livello complessivo. Inoltre, le Reti Bayesiane possono essere impiegate per aggiornare le informazioni statistiche in tutti i nodi quando informazioni aggiuntive diventano disponibili [143].

Per quanto concerne i danni che possono essere causati alle infrastrutture critiche, si possono implementare dei sistemi di monitoraggio di lungo e di breve periodo dello stato di salute. Inizialmente, sono raccolti i dati relativi alle caratteristiche discriminanti, sono analizzati e tramite *esperti* ed eventualmente l'utilizzo del *Machine Learning* si ricavano delle stime dei tempi o dell'entità dei guasti. Ad esempio, per la valutazione dello stato di salute di strutture soggette a carico di fatica potrebbe essere monitorata la formazione di cricche attraverso il rilevamento delle emissioni acustiche generate [112]. Di queste emissioni potrebbe essere analizzato il conteggio AE (il numero di volte in cui l'ampiezza di un segnale acustico supera un valore di soglia predefinito) oppure l'ampiezza di picco, il tempo di salita o la durata del segnale. Inoltre, potrebbero essere integrati altri indicatori di crescita delle cricche come, ad esempio, la mappatura della temperatura superficiale (termografia).

4. Conclusioni

Esaminando la prima parte della tesi si nota la numerosità di soggetti e ruoli che nella gestione del rischio si alternano con incarichi più o meno autorevoli ed influenze dal piccolo raggio sino alla scala globale (IAEA, DG HOME, ONU, IMF ed altri). Da qui può conseguire la difficoltà ad identificare e distinguere agevolmente le responsabilità, il conflitto di interessi e la possibilità che su un sistema gravino differenti direttive, talvolta persino contrastanti. Inoltre, emergono altre tre rilevanti criticità che segnano la disciplina della gestione del rischio. La prima è la varietà di fattori tecnologici, psicologici, sociali e politici che la caratterizzano e rendono necessario un approccio di analisi multidisciplinare, tanto che, i centri di ricerca sul rischio nei propri studi utilizzano metodi provenienti da più aree dell'insegnamento: dalle scienze sociali alla statistica. La seconda problematicità è l'incremento delle connessioni ed interrelazioni tra i paesi, le popolazioni e le infrastrutture che rendono i sistemi odierni più estesi e le parti più dipendenti le une dalle altre, facendo sì che un evento avverso, inizialmente localizzato, possa diffondersi velocemente con effetti a catena causando danni oltre misura. I metodi di analisi proposti, in tali casi di rischio sistemico, sono: empirici, ABM, della dinamica dei sistemi, della teoria economica, delle reti e altri, che sono però limitati e tuttora necessitano di miglioramenti. Infine, vi è l'aggravante della dinamicità e mutevolezza dell'ambiente e dei sistemi analizzati e la variabilità delle minacce, le quali non solo di anno in anno possono cambiare i propri potenziali impatti e probabilità di accadimento (come nel caso cybersecurity) ma ne possono nascere di nuove.

Si può riassumere che il trend a cui è sottoposta la disciplina di gestione del rischio è di un incremento della complessità causata: dall'estensione dei confini dei sistemi fisici e di gestione e dall'intensificazione e perenne mutamento delle

variabili, delle interdipendenze e dei fattori in gioco, sia appartenenti alla sfera scientifica e tecnologica che umana e sociale.

Proseguendo con la lettura della tesi si viene a conoscenza dei numerosi problemi che oggi generalmente si riscontrano nell'approccio alla gestione del rischio adottato dagli agenti coinvolti. Tra questi: comportamento reattivo dei governi e limitatamente razionale delle famiglie, scarse capacità di comunicazione efficace delle istituzioni (sia ex ante che durante le crisi), mancanza di mandati chiari e di un budget dedicato, limitato approccio globale alla resilienza (poca integrazione a tutti i livelli e cooperazione intersettoriale), carenti controlli e sistematicità nella raccolta e nel monitoraggio completo dei dati, nonché dei progressi verso la resilienza. Il tutto manifestato negli aumenti del PIL@Risk globale, dei costi di gestione a tutti i livelli e del numero di morti ogni anno per rischi noti. E' possibile quindi intuire che, in prospettiva, la situazione futura non è propizia se fosse mantenuto l'attuale approccio alla gestione del rischio.

Tuttavia, però, sono fattibili dei cambiamenti e se si guarda al -14% del PIL@Risk globale teoricamente ottenibile, se tutti i tassi di livello di recupero aumentassero al massimo, vi è un margine di miglioramento che può essere favorevolmente sfruttato. Un primo passo importante che potrebbe in tal senso essere compiuto dai decision maker è rafforzare la resilienza. Specificatamente essi potrebbero: seguire nella progettazione i principi della resilienza (includere opzioni ed alternative, adottare misure basate sulla natura, ecc.), diventare una guida per la popolazione cercando di coinvolgerla il più possibile nella gestione del rischio ed in particolare, relativamente ad essa: analizzare e conoscere i fattori sociali che ne mediano la risposta e capire cosa la porta a prepararsi maggiormente ed a percepire il reale livello di rischio. Inoltre, dovrebbero dedicare attenzione allo sviluppo delle capacità comunicative e dei relativi sistemi informativi per agevolare un contatto diretto, aperto, trasparente ed inclusivo, tenendo in

considerazione che fattori come la fiducia verso le istituzioni possono inficiare i risultati e che quindi anch'essi vanno curati. Infine, i decision maker dovrebbero adottare delle misure correlate alla sfera economica, come prevedere per la popolazione e le aziende: incentivi, piani assicurativi agevolati ed attività di formazione sull'efficacia e sui costi delle misure cautelari private, per permettergli, una volta consapevoli delle potenziali minacce, di dotarsi delle adeguate misure necessarie.

Osservando il tutto da una prospettiva più tecnica e scientifica, per adattare la resilienza al trend in atto e superare le attuali criticità, è necessario che le comunità e le amministrazioni migliorino le attività di prevenzione e di gestione (durante ed ex-post le crisi). Affinché ciò sia possibile, devono essere incrementate le capacità degli esperti di predire con precisione e con largo anticipo, l'arrivo delle crisi ed il loro potenziale impatto.

Sino ad oggi, molti strumenti e metodi sono stati sviluppati ed utilizzati i quali possono ancora essere migliorati ma il potenziamento e l'industrializzazione, degli ultimi 5/10 anni, dell'apprendimento automatico apre le porte a nuovi sviluppi promettendo prestazioni superiori. Infatti, con l'impiego di quest'ultimo, in alcune occasioni è possibile: sostenere minori costi, raggiungere precisioni anche molto alte, estendere l'orizzonte temporale delle previsioni, gestire ed elaborare ingenti quantità di variabili ed ottenere risultati nuovi che vanno oltre ciò a cui l'uomo potrebbe pensare.

Attualmente, le performance migliori sono ottenute soprattutto nella trattazione di rischi esogeni e noti (che si sono manifestati più volte di cui si hanno a disposizione molti dati) e che sono regolati da leggi chiare. Ne consegue che le applicazioni più comuni sono le attività di regolamentazione. Le criticità si riscontrano nel momento in cui: si vuole trattare il rischio endogeno non noto (che

può derivare ad esempio dal comportamento umano), le variabili in gioco cambiano continuamente e velocemente, il sistema è di così larga scala che è complicato comprendere la realtà fisica celata dietro ai risultati forniti dalle macchine, è necessario l'intuito umano, i dati sono mancanti od incompleti, non si ha fiducia nel risultato fornito da una tecnica "black box" ed infine, la prevedibilità delle logiche che regolano gli algoritmi fanno sì che questi possano essere aggirati.

A tali problematicità studiosi e centri di ricerca stanno cercando di trovare soluzione ed essendo una disciplina relativamente nuova le aspettative sono alte. Inoltre, è plausibile che la fiducia nei confronti dei risultati forniti dalle varie tecniche (black box comprese) crescerà via via che questi collezioneranno risultati corretti e validati in casi reali, pertanto è probabilmente solo questione di tempo prima di un'ulteriore ampia diffusione dell'utilizzo. Al momento, le tecniche con il maggiore hype, che già in alcuni casi hanno superato delle criticità sopra riportate, sono: XGBoosting, Random Forest, Reti Neurali e Reti Bayesiane.

Per incrementare ulteriormente lo sviluppo e le applicazioni dell'Apprendimento Automatico, oltre allo sforzo dei ricercatori, i policy maker potrebbero adottare delle accortezze. Innanzitutto, provvedere alla registrazione di tutti i dati che è possibile raccogliere (di qualunque natura essi siano: relativi alla popolazione, agli spostamenti, alle minacce affrontate, alle procedure preventive messe in atto, ecc.) ed adottare un sistema di registrazione uniformato basato su database standard, così che le informazioni possano essere facilmente elaborate. Inoltre, adottare un atteggiamento collaborativo con ogni altro ente (regioni, stati, popolazione e centri di ricerca), di apertura nei confronti dell'innovazione e dei sistemi IOT, favorendone lo sviluppo al fine di ottenere una maggiore connessione e condivisione di dati ed informazioni.

Infine, per contestualizzare quanto concluso è sufficiente osservare la situazione attuale di pandemia globale da Covid-19. Si nota che: molteplici sono i ruoli e gli attori rilevanti coinvolti (Unioni di stati, governatori di ogni livello, cittadini, sindacati, case farmaceutiche, produttori di mascherine, organizzazioni di volontariato, virologi, ecc.) e la dimensione è sistemica, infatti le interdipendenze ed i collegamenti sono difficili da gestire e controllare (le mancanze di uno stato od ente o persona possono ripercuotersi sugli altri, da cui segue la necessità di bloccare gli spostamenti tra le frontiere, le regioni ed addirittura tra province) così come è fondamentale per ottenere soluzioni di grande portata l'intervento delle unioni e delle istituzioni internazionali (come, ad esempio, l'UE per l'erogazione di fondi e di credito agevolato, per la negoziazione e gestione della campagna vaccinale o ancora per la regolazione degli spostamenti tra paesi). Inoltre, si possono osservare in alcuni casi le inefficienze nella preparazione degli stati, nella comunicazione del governo e la scarsa fiducia nutrita da parte della popolazione verso le istituzioni (dagli enti certificatori della validità dei vaccini al Presidente del Consiglio) manifestata nell'indisponibilità a rispettare regole e raccomandazioni con ripercussioni dirette su tutto il sistema economico e sociale. Infine, si può notare quanto la raccolta dei dati (ad esempio, numero di contagiati e decessi) sia vitale per dirigere le azioni e quanto l'uniformità dei metodi di registrazione ed elaborazione tra i singoli ospedali, regioni o stati sia importante per operare analisi e confronti, rapidi ed efficaci, a livello nazionale ed internazionale.

5. Reference

[1] Academic & Research Institutions - Society for Risk Analysis, 2020 [Accesso 25 settembre 2020]; https://www.sra.org/resources/research-institutions/.

[2] Cantamessa M. e Montagna F., 2016 "Management of Innovation and Product Development Integrating Business and Technological Perspectives"; Springer London Heidelberg New York Dordrecht, ISBN 978-1-4471-6722-8, DOI 10.1007/978-1-4471-6723-5

[3] Policy maker in Vocabolario – Treccani, 2021 [Accesso 13 gennaio 2021]; https://www.treccani.it/vocabolario/policy-maker_%28Neologismi%29/

[4] Fykse E. M. et al., 2017; "A critical evaluation of standardisation as a tool for improving preparedness, crisis management and disaster resilience with recommendations for future development and actions"; Increasing disaster Resilience by establishing a sustainable process to support Standardisation of technologies and services; http://resistand.eu/sites/default/files/resistand/public/content-files/deliverables/ResiStand_D5.1_Potential-of-standards_v15pw27072017_FINAL.pdf

[5] Migration and Home Affairs, 2021 [Accesso 13 Gennaio 2021]; https://ec.europa.eu/home-affairs/index_en.

[6] European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations, 2021 [accesso 13 Gennaio 2021]; https://ec.europa.eu/echo/index_en.

[7] DG DEVCO - DG for International Cooperation and Development, 2021 [accesso 13 Gennaio 2021]; https://knowledge4policy.ec.europa.eu/organisation/dg-devco-dg-international-cooperation-development_en.

[8] DG GROW - DG for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, 2021 [Accesso 13 Gennaio 2021]; https://knowledge4policy.ec.europa.eu/organisation/dg-grow-dg-internal-market-industry-entrepreneurship-smes_en.

[9] DG CLIMA - DG Azione per il clima, 2021 [Accesso 13 gennaio 2021]; https://knowledge4policy.ec.europa.eu/organisation/dg-clima-dg-climate-action_en.

[10] DG CNECT - DG per le reti di comunicazione, i contenuti e la tecnologia, 2021 [Accesso 13 Gennaio 2021]; https://knowledge4policy.ec.europa.eu/organisation/dg-cnect-dg-communications-networks-content-technology_en.

[11] DG REGIO - DG per la politica regionale e urbana, 2021 [Accesso 13 gennaio 2021]; https://knowledge4policy.ec.europa.eu/organisation/dg-regio-dg-regional-urban-policy_en.

[12] Servizio europeo per l'azione esterna (SEAE) | Unione Europea 2021 [Accesso 13 gennaio 2021]; https://europa.eu/european-union/about-eu/institutions-bodies/eeas_it.

[13] EU Science Hub | The European Commission's science and knowledge service, 2021 [Accesso 13 Gennaio 2021]; https://ec.europa.eu/jrc/en.

[14] Banca Centrale Europea (BCE) - Europa EU, 2021 [Accesso 13 Gennaio 2021]; https://www.ecb.europa.eu/ecb/html/index.it.html

[15] Come funziona l'Unione economica e monetaria, 2021 [Accesso 13 Gennaio 2021]; https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/economic-and-fiscal-policy-coordination/economic-and-monetary-union/how-economic-and-monetary-union-works_en

[16] Cfpa Europe, 2021 [Accesso 13 gennaio 2021]; https://cfpa-e.eu/.

[17] The European Emergency Number Association: EENA, 2021 [Accesso 13 gennaio 2021]; https://eena.org/.

[18] Red Cross EU Office: Home, 2021 [Accesso 13 Gennaio 2021]; https://redcross.eu/.

[19] AeroSpace and Defence Industries Association of Europe – ASD, 2021 [Accesso 13 Gennaio 2021]; https://www.asd-europe.org/about-us.

[20] CoESS - Acting as the voice of the security industry, 2021 [Accesso 13 Gennaio 2021]; https://www.coess.org/.

[21] European Biosafety Association: Welcome to EBSA, 2021 [Accesso 13 Gennaio 2021]; https://www.ebsaweb.eu/.

[22] Euralarm, 2021 [Accesso 13 Gennaio 2021]; https://www.euralarm.org/.

[23] UNDP - Programma di sviluppo delle Nazioni Unite. [Accesso 13 gennaio 2021]; https://www.undp.org/content/undp/en/home.html.

[24] UNICEF. [Accesso 13 gennaio 2021]; https://www.unicef.org/.

[25] UNCHR – The UN Refugee Agency. [Accesso 13 gennaio 2021]; https://www.unhcr.org/.

[26] United Nations World Food Programme (WFP) - WFP.org, 2021 [Accesso 13 gennaio 2021]; https://it.wfp.org/.

[27] United Nations Office on Drugs and Crime, 2021 [Accesso 13 Gennaio 2021]; https://www.unodc.org/.

[28] UNCTAD: Home, 2021 [Accesso 13 gennaio 2021]; https://unctad.org/.

[29] UNEP - UN Environment Programme, 2021 [Accesso 13 gennaio 2021]; https://www.unep.org/.

[30] About Us | UN-Habitat, 2021 [Accesso 13 gennaio 2021]; https://unhabitat.org/about-us.

[31] World Health Organization: WHO, 2021 [Accesso 13 Gennaio 2021]; https://www.who.int/about/what-we-do.

[32] Food and Agriculture Organization of the United Nations: Home, 2021 [Accesso 13 Gennaio 2021]; http://www.fao.org/about/en/.

[33] International Fund for Agricultural Development (IFAD), 2021 [Accesso 13 Gennaio 2021]; https://www.ifad.org/en/.

[34] International Maritime Organization, 2021 [Accesso 13 gennaio 2021]; https://www.imo.org/.

[35] ICAO, 2021 [Accesso 13 gennaio 2021]; https://www.icao.int/about-icao/Pages/default.aspx.

[36] ITU: Committed to connecting the world, 2021 [Accesso 13 Gennaio 2021]; https://www.itu.int/en/about/Pages/default.aspx.

[37] UNIDO | United Nations Industrial Development Organization, 2021 [Accesso 13 Gennaio 2021]; https://www.unido.org/who-we-are/unido-brief.

[38] Home | UNDRR, 2021 [Accesso 13 gennaio 2021]; https://www.undrr.org/.

[39] About the IMF - International Monetary Fund, 2021 [Accesso 5 febbraio 2021]; https://www.imf.org/en/About.

[40] Who We Are - World Bank Group, 2021 [Accesso 5 Febbraio 2021]; https://www.worldbank.org/en/who-we-are.

[41] International Atomic Energy Agency | Atoms for Peace, 2021 [[Accesso 14 Gennaio 2021]; https://www.iaea.org/.

[42] Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, 2021 [Accesso 14 Gennaio 2021]; https://www.opcw.org/.

[43] International Organization for Migration, 2021 [Accesso 14 gennaio 2021]; https://www.iom.int/.

[44] Coburn, A.W., Bowman G., Ruffle S.J., Foulser-Piggott R., Ralph D., Tuveson M., 2014; "A Taxonomy of Threats for Complex Risk Management"; Cambridge Risk Framework Series; Centre For Risk Studies, University Of Cambridge.

file:///C:/Users/Utente/Desktop/TESI/Papers/Cambridge/crs-cambridge-taxonomy-threats-complex-risk-management.pdf

[45] Cambridge Centre for risk studies, 2018; "Global Risk Index 2019 Executive Summary"; Cambridge Centre For Risk Studies, University of Cambridge; p.6; p.19; p22. https://www.jbs.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2020/08/crs-global-risk-index-exec-summary-2019.pdf?v=1600883971

[46] Renn O., 2011; "The Social Amplification/Attenuation of Risk Framework: Application to Climate Change"; Wiley interdisciplinary reviews: climate change, John Wiley & sons, vol. 2 (2). https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/wcc.99

[47] Klimek P., Barzelay U, Bergfors L., Choudhary A., Jovanovic A., Jovanovic M., Knape T., Lo Sardo R., Sanne J., Székely Z. e Walther G., 2018; "Report on Interdependencies And Cascading Effects Of Smart City Infrastructures"; Smart resilience: Smart Resilience Indicators For Smart Critical Infrastructures; p.9-12; p.22; p.31. http://www.smartresilience.eu-vri.eu/Results.

[48] Ouyang M., 2014 "Review on modelling and simulation of interdependent critical infrastructure systems"; Reliability Engineering & System Safety, Volume 121, 2014, Pages 43-60, ISSN 0951-8320; http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832013002056.

[49] Sisti E., 2014; "Un approccio Agent Based Model per la decisione nelle scelte strategiche"; Tesi di laurea magistrale in ECONOMIA – Economia dell'ambiente e della regolazione dei mercati, Università Ca' Foscari Venezia; p.13; http://dspace.unive.it/bitstream/handle/10579/5030/831587-1156562.pdf?sequence=2

[50] Choudhary A., Klimek P., Lo Sardo R., Maraglino V., Knape T. e Jovanović A., 2018; "Resilience indicators for SCIs based on big and open data"; Smart Resilience Indicators for Smart Critical Infrastructures; http://www.smartresilience.eu-vri.eu/Results.

[51] La Torre P., 2014; "Rischio Sistemico - Il collegamento tra istituzioni finanziarie"; Tesi di laurea magistrale in Sviluppo Economico e dell'Impresa, Curriculum Finanza dello sviluppo e della PMI; Università Ca' Foscari Venezia; file:///C:/Users/Utente/Downloads/816343-1170712%20(3).pdf

[52] McLaughlin A. e Barder D., 2015 "Centralità tra scalabilità e prestazioni elevate sulla GPU"; International conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis, SC.2015, 572-583, 10.1109/SC.2014.52.; p.573;

[53] Guidelines for the Governance of Systemic Risks, 2020 [Accesso 10 Ottobre 2020]; https://irgc.org/risk-governance/systemic-risks/guidelines-governance-systemic-risks-context-transitions/.

[54] Laubichler M., Lucas K., Renn O., Kröger W., Schanze, J., Scholz R.W., Schweizer P.-J., 2020; "Systemic Risks from Different Perspectives" Risk Analysis, 2020; https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/risa.13657.

[55] Steinbeis Advanced Risk Technologies, 2021 [Accesso 16 Gennaio 2021]; https://www.risk-technologies.com/.

[56] Economics and Political Risk Evaluator - Oxford Economics, 2021 [Accesso 16 Gennaio 2021]; https://www.oxfordeconomics.com/economic-and-political-risk-evaluator.

[57] Perboli G. e Arabnezhad E., 2020; "A Machine learning-based DSS for Mid and Long-Term Company Crisis Prediction"; CIRRELT-2020-29.

[58] Analisi Predittiva: che cos'è e perché è importante | SAS Italy, 2021 [Accesso 17 gennaio 2021]; https://www.sas.com/it_it/insights/analytics/predictive-analytics.html.

[59] Modellazione Predittiva - MATLAB & Simulink – MathWorks, 2021 [Accesso 19 gennaio 2021]; https://it.mathworks.com/discovery/predictive-modeling.html.

[60] Come funziona un algoritmo di regressione logistica, 2021 [Accesso 17 gennaio 2021]; [https://lorenzogovoni.com/regressione-logistica/.

[61] Giacomini E., 2017; "Convolutional Neural Networks Per Il Riconoscimento Di Nudità Nelle Immagini"; Tesi di Laurea Magistrale, Università degli Studi di Padova Dipartimento di Scienze Statistiche Corso in Scienze Statistiche; p. 34,35,58. https://core.ac.uk/download/pdf/83464573.pdf

[62] Chen T. e Guestrin C., 2016; "XGBoost: A Scalable Tree Boosting System" KDD '16: Atti della 22ª conferenza internazionale ACM SIGKDD sulla scoperta della conoscenza e il data mining; p.1,2. http://cinslab.com/wp-content/uploads/2019/06/Ke-Wang-XGBoost-A-Scalable-Tree-Boosting-System.pdf

[63] Lopez P., 2016 "SVM contro una scimmia. Fai le tue scommesse", QuantDare https://quantdare.com/svm-versus-a-monkey/

[64] Al-Behadili H., Grumpe A., Dopp C. e Wöhler C., 2015 "Non-Linear Distance Based Large Scale Data Classifications"; Conference Paper, December 2015, p.3

[65] Baralis E., Cagliero L. e Garza P., 2021; "EnBay: A novel pattern-based Bayesian classifier"; Politecnico di Torino repository istituzionale; https://iris.polito.it/handle/11583/2505994#.YAWwU-hKhPY.

[66] MATLAB - Il linguaggio del calcolo tecnico - MATLAB & Simulink, 2021; [Accesso 16 gennaio 2021]; https://it.mathworks.com/products/matlab.html.

[67] Alteryx: Self-Service Analytics, Data Science & Process, 2021; [Accesso 16 Gennaio 2021]; https://www.alteryx.com/products/apa-platform.

[68] SPSS Modeler - Panoramica - Italia | IBM, 2021 [Accesso 16 gennaio 2021]; https://www.ibm.com/it-it/products/spss-modeler.

[69] Strumenti di gestione AWS - Amazon Web Services (AWS), 2021 [Accesso 16 gennaio 2021]; https://aws.amazon.com/it/products/management-tools/.

[70] Schneider P. e Shauer B., 2006; "Hazus-its development and its future"; natural hazards review 7(2). https://www.researchgate.net/publication/248880484_HAZUS-its_development_and_its_future.

[71] Cardona O.D., Ordaz M.G, Reinoso E., Yamín L.E. e Barbat A.H., 2012; "Capra - comprehensive approach to probabilistic risk assessment: international initiative for risk management effectiveness". https://www.researchgate.net/publication/259598259_CAPRA_-_Comprehensive_Approach_to_Probabilistic_Risk_Assessment_International_Initiative_for_Risk_Management_Effectiveness.

[72] Bell R.G., Reese S. e King A.B., 2007; "Regional Riskscape: A Multi-Hazard Loss Modelling Tool". https://www.researchgate.net/publication/237112448_Regional_RiskScape_A_Multi-Hazard_Loss_Modelling_Tool

[73] CLIMADA – Weather and Climate Risks | ETH Zurich, 2021 [Accesso 16 Gennaio 2021]; https://wcr.ethz.ch/research/climada.html.

[74] Albala-Bertrand J.M., 1993 "Natural Disaster Situations And Growth: A Macroeconomic Model For Sudden Disaster Impacts"; World Development, 1993, vol. 21, issue 9, 1417-1434.

[75] Camacho C. e Sun Y., 2019; "Long term decision making under the threat of earthquakes?"; Systemic Risk Centre Discussion Papers DP 91, 2019-11-05; https://www.systemicrisk.ac.uk/publications/discussion-papers/longterm-decision-making-under-threat-earthquakes;

[76] Hallegatte e Ghil, 2008; "Natural Disasters Impacting A Macroeconomic Model with Endogenous Dynamics"; ecological economics. https://www.researchgate.net/publication/23644387_Natural_Disasters_Impacting_a_Macroeconomic_Model_with_Endogenous_Dynamics.

[77] Climate change – WHO, 2021 [Accesso 4 Febbraio 2021]; https://www.who.int/heli/risks/climate/climatechange/en/#:~:text=Climatic%20changes%20already%20are%20estimated%20to%20cause%20over%20150%2C000%20deaths%20annually.&text=That%20estimate%20includes%20deaths%20as,be%20occurring%20with%20increased%20frequency.

[78] Quantitative risk assessment of the effects of climate ... – WHO, 2021 [Accesso 4 febbraio 2021]; https://www.who.int/globalchange/publications/quantitative-risk-assessment/en/.

[79] Coronavirus deaths worldwide by country | Statista, 2021 [Accesso 4 febbraio 2021]; https://www.statista.com/statistics/1093256/novel-coronavirus-2019ncov-deaths-worldwide-by-country/

[80] Florin M.V., e Linkov I., 2016; "IRGC Resource guide on Resilience"; Lausanne: EPFL International Risk Governance Center (IRGC), DOI:10.5075/epfl-irgc-228206; file:///C:/Users/Utente/Downloads/IRGC%20(2016)%20IRGC%20Resilience%20Resource%20Guide%20(Volume%201).pdf.

[81] Baecher G., Bensi M., Reilly A., Phillips B., Link L.(Ed), Knight S. e Galloway G., 2019; "Resiliently Engineered Flood and Hurricane Infrastructure: Principles to Guide the Next Generation of Engineers"; Summer Bridge Issue on Engineering for Disaster Resilience, July 1, 2019 Volume 49 Issue 2; https://www.nae.edu/212181/Resiliently-Engineered-Flood-and-Hurricane-Infrastructure-Principles-to-Guide-the-Next-Generation-of-Engineers.

[82] Toon H. et al., 2019 "Advancing disaster policies by integrating dynamic adaptive behaviour in risk assessments using an agent-based modelling approach"; environ. Res. Lett. 14 044022. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab0770.

[83] Mahdavian F., Wiens M., Platt S. e Schultmann F., 2020; "Risk behaviour and people's attitude towards public authorities – A survey of 2007 UK and 2013 German floods" International Journal of Disaster Risk Reduction Volume 49, October 2020, 101685; https://www-sciencedirect-com.ezproxy.biblio.polito.it/science/article/pii/S2212420920304398#cebib0010.

[84] Grothmann T. e Reusswig F., 2006; "Persone a rischio di allagamento. Perché alcuni residenti adottano misure precauzionali mentre altri no"; Nat. Pericoli , 38 (1-2) (2006), p.101-120, 10.1007/s11069-005-8604-6.

[85] Johannessen A. e Wamsler C., 2020 "Meeting at the crossroads? Developing national strategies for disaster risk reduction and resilience: relevance, scope for, and challenges to, integration"; International journal of disaster risk reduction.

[86] SmartResilience - EU-VRi, 2021 [Accesso 17 Gennaio 2021]; http://www.smartresilience.eu-vri.eu/.

[87] Norrman A. e Wieland A., 2020 "The development of supply chain risk management over time: revisiting Ericsson"; international journal of physical distribution & logistics management vol. 50 no. 6, 2020 pp. 641-666 emerald publishing limited 0960-0035. https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJPDLM-07-2019-0219/full/html.

[88] Emergency Response Coordination Centre, 2021 [Accesso 17 Gennaio 2021]; https://ec.europa.eu/echo/what/civil-protection/emergency-response-coordination-centre-ercc_en.

[89] European Civil Protection Pool - European Commission, 2021 [Accesso 17 Gennaio 2021]; https://ec.europa.eu/echo/what/civil-protection/european-civil-protection-pool_en.

[90] RescEU - European Commission - europa.eu, 2021 [Accesso 17 gennaio 2021]; https://ec.europa.eu/echo/what/civil-protection/resceu_en.

[91] Copernicus Emergency Management Service, 2021 [Accesso 17 Gennaio 2021]; https://emergency.copernicus.eu/.

[92] Fondo di solidarietà dell'UE - Politica regionale, 2021 [Accesso 19 gennaio 2021]; https://ec.europa.eu/regional_policy/it/funding/solidarity-fund/.

[93] Piano per la ripresa dell'Europa | Commissione europea, 2020 [Accesso 10 dicembre 2020]; https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_it.

[94] Apprendimento-automatico-e-intelligenza-artificiale, 2020; [Accesso 15 novembre 2020]; https://www.dataskills.it/apprendimento-automatico-e-intelligenza-artificiale/#gref.

[95] Machine Learning: che cos'è e perché è importante | SAS Italy, 2021 [Accesso 20 gennaio 2021]; https://www.sas.com/it_it/insights/analytics/machine-learning.html.

[96] What is reinforcement learning?, 2020 [Accesso 15 novembre 2020]; https://deepsense.ai/what-is-reinforcement-learning-the-complete-guide/.

[97] "Machine Learning Overview", 2019; Flairnet - White-Paper; https://www.flair-net.it/wp-content/uploads/2019/12/Flairnet-Machine-Learning-White-Paper_Allegato-1.pdf.

[98] Deep Learning: 3 cose da sapere - MATLAB & Simulink, 2020 [Accesso 15 novembre 2020]; https://it.mathworks.com/discovery/deep-learning.html.

[99] Data Science For u, 2020; Facebook.

[100] Danielsson J., Macrae R. e Uthemann A., 2017; "Artificial intelligence, financial risk management and systemic risk"; SRC Special Paper No 13 November 2017; https://www.fmg.ac.uk/sites/default/files/publications/SP-13.pdf.

[101] Heim, J. L. and Miller B. M., 2020; "Measuring Power, Power Cycles, and the Risk of Great-Power War in the 21st Century"; Santa Monica CA: RAND Corporation, 2020; https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR2989.html.

[102] Harvard Business Review, 2014; "Predictive Analytics in Practice - SAS"; https://www.sas.com/content/dam/SAS/en_us/doc/whitepaper2/hbr-predictive-analytics-in-practice-107511.pdf.

[103] Bouskill, Kathryn E. e Smith E., 2019; "Global Health and Security: Threats and Opportunities"; Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2019; https://www.rand.org/pubs/perspectives/PE332.html.

[104] Oughton E. J., Ralph D., Pant R., Leverett E., Copic J., Thacker S., Dada R., Ruffle S., Tuveson M. e Hall J. W., 2019; "Stochastic Counterfactual Risk Analysis for the Vulnerability Assessment of Cyber-Physical Attacks on Electricity Distribution Infrastructure Networks"; Volume39, Issue9 Special Issue: Resilient Cyber-Physical-Social Systems September 2019 Pages 2012-2031; https://onlinelibrary-wiley-com.ezproxy.biblio.polito.it/doi/full/10.1111/risa.13291

[105] "Comparing Methods For Terrorism Risk Assessment With Methods In Cyber Security" Workshop Report External Contributions, International Risk Governance Council, AAAS Washington, DC, USA 28 – 29 May 2015; https://irgc.org/wp-content/uploads/2018/09/Terrorism-Cyber-Security-28-29-May-2015-Workshop-Report.pdf.

[106] "Cybersecurity in azienda: strumenti e consigli", 2019; Cybersecurity in Azienda: Strumenti E Consigli Pratici, articoli tecnici, DigitalHive; https://digitalhive.it/cybersecurity-in-azienda-come-difendersi/.

[107] IRM risk news, 2020 [Accesso 15 dicembre 2020]; https://www.theirm.org/news/irm-risk-predictions-2020/#Climate.

[108] Bernini L., 2020 "Il nuovo cyber security framework: strumenti e processi per la protezione delle infrastrutture aziendali"; Soluzioni aziendali, Cyber Security 360; https://www.cybersecurity360.it/soluzioni-aziendali/il-nuovo-cyber-security-framework-strumenti-e-processi-per-la-protezione-delle-infrastrutture-aziendali/.

[109] "Governing risk from decision-making learning algorithms (DMLAs)", 2018; IRGC workshop, July 2018; https://www.epfl.ch/research/domains/irgc/wp-content/uploads/2018/11/The-governance-of-decision-making-algorithms_Presentation-slides.pdf.

[110] Cofre-Martel S., Kobrich P., Lopez D. E. e Meruane V., 2019; "Deep Convolutional Neural Network-Based Structural Damage Localization and Quantification Using Transmissibility Data"; Shock and Vibration Volume 2019 |Article ID 9859281; https://www.hindawi.com/journals/sv/2019/9859281/.

[111] Groth K. M, Denman M. R., Darling M. C., Jones T. B. e Luger G. F, 2018; "Building and using dynamic risk-informed diagnosis procedures for complex system accidents"; Volume: 234 issue: 1, page(s): 193-207 Article first published online: October 17, 2018; Issue published: February 1, 2020 Received: November 01, 2016; Accepted: September 01, 2018; https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1748006X18803836.

[112] Keshtgar A., Sauerbrunn C. M. e Modarres M., 2018; “Structural Reliability Prediction Using Acoustic Emission-Based Modelling of Fatigue Crack Growth”; Applied Sciences, 2018, 8(8), 1225; https://www.mdpi.com/2076-3417/8/8/1225/htm.

[113] Terzi L., Kalinowski M., Schoeppner M. et al., 2019; “Come prevedere il tempo stagionale e i monsoni con il monitoraggio dei radionuclidi”; Sci Rep 9, 2729 (2019). https://doi.org/10.1038/s41598-019-39664-7.

[114] Leitão J.P., Moy de Vitry M., Kramer S. e Wegner J. D., 2019; “Scalable flood level trend monitoring with surveillance cameras using a deep convolutional neural network” Hydrology and Earth System Sciences, Volume 23, Issue 11, 15 November 2019, Pages 4621-4634; https://hess.copernicus.org/articles/23/4621/2019/.

[115] Kagan, Y. Y e Jackson D. D., 1994; "Longterm probabilistic forecasting of earthquakes”; Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 99.B7, 13685-13700. https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/94JB00500.

[116] Jiao P. e Alavi A.H., 2020 “Artificial intelligence in seismology: Advent, performance and future trends”; Geoscience Frontiers, Volume 11, Issue 3, 2020, Pages 739-744, ISSN 1674-9871.

[117] Jaiswal K.S. and Wald D.J., 2011; “Rapid estimation of the economic consequences of global earthquakes”; U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1116; https://pubs.usgs.gov/of/2011/1116/downloads/OF11-1116_508.pdf.

[118] Jaiswal K., Wald D.J. e Hearne M., 2009; “Estimating Casualties for Large Earthquakes Worldwide Using an Empirical Approach” U.S. Geological Survey Open-File Report OF 2009–1136; https://pubs.usgs.gov/of/2009/1136/.

[119] Ilknur Z., Danielsson J. e Valenzuela M., 2018; “Low risk as a predictor of financial crises”; Systemic Risk Center Publications (LSE); https://www.systemicrisk.ac.uk/publications/opinion-pieces/low-risk-predictor-financial-crises.

[120] Gupta A. e Tadinada S.K., 2020; “A Bayesian Inference driven computational framework for seismic risk assessment using large-scale nonlinear finite element analyses”; Progress in Nuclear EnergyVolume 130, December 2020, Article number 103556; https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0149197020303036.

[121] Figueiredo R., Lüdtke S., Schröter K., Steinhausen M., Weise L. e Kreibich H., 2019; “A Consistent Approach for Probabilistic Residential Flood Loss Modelling in Europe”; Water Resources Research, Volume 55, Edizione 12 Dicembre 2019, p. 10616-10635; https://agupubs-onlinelibrary-wiley-com.ezproxy.biblio.polito.it/doi/full/10.1029/2019WR026213.

[122] Exogenous vs. Endogenous Risk - It is an endogenous risk year, 2020 [Accesso 10 novembre 2020]; https://www.hvst.com/posts/exogenous-vs-endogenous-risk-it-is-an-endogenous-risk-year-XOMT8La4.

[123] EU Civil Protection Mechanism - European Commission, 2021 [Accesso 17 gennaio 2021]; https://ec.europa.eu/echo/what/civil-protection/mechanism_en.

[124] Esiste un modo per prevedere le alluvioni?, 2020 [Accesso 20 dicembre 2020]; http://www.adbarno.it/adb/?page_id=5480.

[125] Dipartimento della Protezione Civile, 2020 [Accesso 25 novembre 2020]; http://www.protezionecivile.gov.it/.

[127] Chen X. et al., 2020; "Utilizzo dell'algoritmo Apriori e della funzione Copula per l'analisi bivariata del rischio di inondazioni flash"; *Water* 2020, *12*(8), 2223; https://www.mdpi.com/2073-4441/12/8/2223/htm.

[128] Beldjoudi H., Nafeh Al Mouayed B., Yelles A. K. e Monteiro R., 2020; "Development of a seismic social vulnerability model for northern Algeria"; International Journal of Disaster Risk Reduction, Volume 50, November 2020, 101821; https://www-sciencedirect-com.ezproxy.biblio.polito.it/science/article/pii/S2212420920313236?via%3Dihub.

[129] Antetomaso A., Rosa B. e Roubini N., 2018; "Ten Years After the Global Financial Crisis: Causes, Outcomes, Lessons Learnt"; SRC Special Paper No 15 September 2018; https://www.systemicrisk.ac.uk/sites/default/files/publications/SP-15_1.pdf.

[130] Ammann Walter J., Vecere A., Monteiro R., Giovinazzi S., Melo Santos R. H., 2016; "Predictive models for post disaster shelter needs assessment"; International Journal of Disaster Risk Reduction Volume 21, March 2017, Pages 44-62; https://www-sciencedirect-com.ezproxy.biblio.polito.it/science/article/pii/S2212420916301479?via%3Dihub.

[131] "Multi-dimensional perspectives on flood risk", 2018; Durm University Publications; https://www.dur.ac.uk/ihrr/research/complete/floodrisk/.

[132] "The Global Risks Report 2019", 2019; The Global Risks Report 2019, 14th Edition, is published by the World Economic Forum; http://reports.weforum.org/global-risks-2019/?doing_wp_cron=1603185993.1643519401550292968750.

[133] Abarca A. e Monteiro R., 2019; "Towards Large Scale Seismic Risk Assessment in Algeria: Case Study to the City of Blida"; IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Volume 603, Issue 5, 18 September 2019, Article number 052065;

[134] Analisi predittiva: 3 cose da sapere - MATLAB & Simulink, 2021 [Accesso 17 gennaio 2021]; https://it.mathworks.com/discovery/predictive-analytics.html.

[135] Appice A., 2015; “Alberi di regressione”; Università degli studi di Bari; https://docplayer.it/17019250-Dr-a-appice-alberi-di-decisione-caso-di-studio-di-metodi-avanzati-di-programmazione-aa-2012-2013.html

[136] Auerkari P., Jovanović A., Øien K., Jelic M., Choudhary A., Tetlak K., Macika S. e Rosen T., 2018; “Modeling the impact of an adverse event on the "absorb" and "recover" capacity of a smart critical infrastructure, based on resilience indicators”; Smart Resilience Indicators for Smart Critical Infrastructures; http://www.smartresilience.eu-vri.eu/Results.

[137] Aznar-Siguan G. e Bresch D.N., 2019; “CLIMADA v1: A global weather and climate risk assessment platform”; Geoscientific Model Development, Volume 12, Issue 7, 19 July 2019, Pages 3085-3097; https://www.researchgate.net/publication/334575227_CLIMADA_v1_a_global_weather_and_climate_risk_assessment_platform

[138] Bodda S. S. et al., 2020; “Limitations of traditional tools for beyond design basis external hazard PRA” Nuclear Engineering and Design, Volume 370, 15 December 2020, 11089915 December 2020, 110899: https://www-sciencedirect-com.ezproxy.biblio.polito.it/science/article/pii/S0029549320303939?via%3Dihub.

[139] Bodsberg L., Øien K., Jovanović A., Grøtan T. O., Choudhary A., Øren A., Tetlak K. e Jelic M., 2018; “Assessing Resilience Level of Smart Critical Infrastructures based on Indicators”; Smart Resilience Indicators for Smart Critical Infrastructures; http://www.smartresilience.eu-vri.eu/Results.

[140] Cos’è l’algoritmo XGBoost ?, 2021 [Accesso 17 gennaio 2021]; https://lorenzogovoni.com/cose-lalgoritmo-xgboost/.

[141] Cremen G. e Galasso C., 2020, “Earthquake early warning: Recent advances and perspectives”; Earth-Science Reviews Volume 205, June 2020, 103184; https://www-sciencedirect-com.ezproxy.biblio.polito.it/science/article/pii/S0012825220302300?via%3Dihub.

[142] Danielsson J. et al., 2020; “Artificial intelligence as a central banker”, https://voxeu.org/article/artificial-intelligence-central-banker.

[143] Dinh N. et al., 2017; “Probabilistic risk assessment based model validation method using Bayesian network”; Reliability Engineering & System Safety Volume 169, January 2018, Pages 380-393; https://www-sciencedirect-com.ezproxy.biblio.polito.it/science/article/pii/S0951832016305907?via%3Dihub#fig0003

[144] Ilknur Z., Danielsson J. e Valenzuela M., 2018; “Learning from History: Volatility and Financial Crises”; SRC Discussion Paper No 57 February 2018; https://www.fmg.ac.uk/sites/default/files/publications/dp-57.pdf.

[145] Lessmann S. et al., 2020; "Can deep learning predict risky retail investors? A case study in financial risk behaviour forecasting"; European Journal of Operational Research Volume 283, Issue 1, 16 May 2020, Pages 217-234; https://www-sciencedirect-com.ezproxy.biblio.polito.it/science/article/pii/S0377221719309099.

[146] Manco G., 2004; "Alberi di decisione: Estensioni, valutazione"; http://staff.icar.cnr.it/manco/Teaching/2005/datamining/lezioni/lezione5.pdf.

[147] Quadro finanziario pluriennale, 2021 [Accesso 17 gennaio 2021]; https://www.europarl.europa.eu/factsheets/it/sheet/29/quadro-finanziario-pluriennale.

6. Ringraziamenti

Giunta al termine di questo lavoro di tesi vorrei innanzitutto esprimere l'orgoglio che provo all'idea di potermi a breve dichiarare dottoressa del Politecnico di Torino, università a cui ho sempre guardato con grande ambizione e che ringrazio, congiuntamente ai miei professori, per avermi formata al meglio in questo percorso di laurea magistrale. In particolare, ringrazio il professore Guido Perboli per avermi dato l'opportunità di approfondire i temi qui trattati, i quali oltre ad essere di mio interesse sono di grande attualità. Ugualmente, ringrazio la dottoressa Mariangela Rosano per avermi assistita con disponibilità e gentilezza.

L'intero elaborato nonché il conseguente titolo di laurea lo dedico a mia mamma, Daniela, grazie a lei oggi raggiungo questo importante traguardo. Sin dalla mia adolescenza non ha mai mancato di credere in me e nelle mie potenzialità, mi ha sostenuta come un fervente fan e mi ha spinta a seguire le mie ambizioni e ad osare oltre le mie paure ed i limiti che potevo prefiggermi. La ingrazio inoltre per avermi trasmesso i valori del rispetto e della gentilezza nonché l'amore per la cultura ed il sapere con cui oggi cerco il senso della vita e costruisco il mio percorso. Grazie di cuore.

La persona che sono oggi e la mia felicità, la dedico oltre che a lei a molte altre persone. Innanzitutto alla mia famiglia per intero: mio papà Bruno e Simona per aver completato la mia formazione ricordandomi l'importanza di mantenere i piedi saldi per terra, di darsi da fare e di rimanere umile, inoltre li ringrazio per i mesi trascorsi insieme all'inizio del percorso di laurea magistrale. Ringrazio le mie sorella Emma ed Agnese per avermi accompagnata nei miei giorni regalandomi tante soddisfazioni e gioie e mio fratello Nicola. Ringrazio i miei nonni Elena, Angelo e Camillo ed in particolare mia nonna Maria che mi ha

spronata a raggiungere il titolo di laurea ricordandomi con il suo esempio che "volere è potere". Grazie ai miei zii Maura, Patrizia e Sergio per esserci sempre stati ed alle mie cucinine Arianna e Mariamartina per essermi state accanto da piccole ed ancora oggi. Ovviamente, non potrei non citare tutti gli amici, persone speciali ed uniche, che ho avuto il piacere di incontrare lungo il mio percorso, quelli di Mombasiglio e dintorni, di Sarzana, dell'università di Pisa e del Politecnico, hanno reso tutto più facile ed ognuno ha lasciato una parte di sé nei miei ricordi. Vorrei poter nominarli tutti ma dato lo spazio limitato, ringrazio particolarmente Nicol, Giulia, Samantha, Alessandro, Andrea, Simone, Scipio, Dalia, i Franceschi, Gianmarco, Salvatore, Marco, Sara, Luca, Davide, Federico e Matteo. Concludo ringraziando i miei coinquilini e compagni di residenza, sono le persone con cui in assoluto ho condiviso e imparato di più, un grazie speciale soprattutto a Mattia, Maggie, Mohamed e Davide.

Appendice 1.1

Prima parte - Elenco Istituti del sito SRA e prima analisi di identificazione

Istituto di Ricerca	Paese	Privata	Pubblica	Università di appartenenza	Corsi universitari	Corsi brevi / certificazioni professionali
Cambridge Centre for Risk Studies	UK		x	Cambridge		x
Berkeley Center for Catastrophic Risk Management CCRM	US		x	Berkeley California		x
Center for Communication, Health and Risk	US		x	Maryland		
Center for Risk & Crisis Management	US		x	Oklahoma		
Center for Risk and Reliability CRR	US		x	Maryland	x	x
Center for Risk Management of Engineering Systems	US		x	Virginia		
Centre for the Quantification & Management of Risk	AU		x	Adelaide		
Harvard Center for Risk Analysis	US	x		Harvard School		x
Centro di Formazione e Ricerca per la Mitigazione del Rischio Sismico - ROSE	IT		x	IUSS	x	x
COmplex Risk and Data Analysis - CORDA	IT		x	IUSS	x	
Berlin Risk Institute	DE	x				x
European Risk & Resilience Institute	DE	x	x			
Dipartimento di Management, London School of Economics and Political Science	UK		x	London School	x	x
Institute of Forensic Engineering, Department of Risk Engineering	CZ		x	Tecnologica di Brno	x	
Center for Bioethics and Social Sciences in Medicine	US		x	Michigan		x
Centre for Risk Research	UK		x	Southampton Business School	x	x
Centre of Excellence for Biosecurity Risk Analysis	AU		x	Melbourne		
Chalmers University of Technology, Architecture and Civil Engineering, Geology and Geotechnics	SE		x	Tecnologia Chalmers	x	
Cornell University, Department of Communication, College of Agriculture and Life Sciences	US	x		Cornell Cals		
Division of risk management and societal safety, Faculty of Engineering, Lund University	SE		x	Lund	x	

Appendice 1.2

Seconda parte - Elenco Istituti del sito SRA e prima analisi di identificazione

Istituto di Ricerca	Paese	Privata	Pubblica	Università di appartenenza	Corsi universitari	Corsi brevi / certificazioni professionali
Drexel University, Dornsife School of Public Health, Department of Environmental and Occupational Health	US	x		Drexel		
ETH Risk Center	CH		x	ETH	x	x
Health & Risk Communication Center HRCC	US		x	Statale del Michigan		
Comunicazione sui rischi per la salute, Università di Hong Kong	HK		x	Hong Kong	x	
Institute for Advanced Sustainability Studies	DE		x			x
Institute for Reliability and Risk Analysis	US	x		George Washington	x	
Istituto di scienze della sicurezza e del rischio	AT		x	Boku Vienna	x	
Institute of Hazard, Risk and Resilience	UK		x	Durham	x	
Iowa State University, ingegneria dei sistemi industriali e di produzione	US		x	Iowa	x	
Istituto congiunto per la sicurezza alimentare e la nutrizione applicata	US		x	Maryland	x	x
Karolinska Institutet	SE		x	Karolaina	x	
Università di Lund, Human Factors & System Safety	SE		x	Lund	x	
North Carolina State University, Dipartimento di ingegneria civile, edile e ambientale	US		x	North Carolina State		
North Central Risk Management Education Center	US	x				
NUS Risk Management Institute	US		x	NUS Singapore	x	x
RAND Homeland Security and Defense Center	US	x				x
Steinbeis University di Berlino, Germania / Advanced Risk Technologies Institute	DE	x		Steinbeis	x	x
The Center for Health & Risk Communication	US		x	George Mason		
Il Centro per la gestione del rischio e la sicurezza sociale (SEROS)	NO		x	Stavanger	x	x
Toxicology Excellence for Risk Assessment Center, University of Cincinnati College of Medicine	US		x	Cincinnati		x
Tulane University, Dept. of Environmental Health Sciences	US	x		Tulane	x	x

Appendice 1.3

Terza parte - Elenco Istituti del sito SRA e prima analisi di identificazione

Istituto di Ricerca	Paese	Privata	Pubblica	Università di appartenenza	Corsi universitari	Corsi brevi / certificazioni professionali
UC Berkeley, Landscape Architecture and Environmental Planning, College of Environmental Design	US		x	Berkeley California	x	x
Universidad del Pacifico, Escuela de Postgrado, Centro de Educación Ejecutiva	PE	x		Del Pacifico Perù		x
University of Bonn, Institute of Geography	DE		x	Bonn	x	
University of Calgary, Dept Ecosystem & Public Health	CA		x	Calgary Alberta	x	
University of California, Riverside	US		x	UC Riverside California	x	x
University of Canterbury	NZ		x	Canterbury	x	
University of Maryland, Reliability	US		x	Maryland	x	
University of Maryland, Department of Civil and Environmental Engineering	US		x	Maryland	x	
University of Ottawa	CA		x	Ottawa	x	
University of Pretoria, School of Health Systems and Public Health, Environmental and Occupational Health Division	ZA		x	Pretoria	x	
Vanderbilt University, Civil and Environmental Engineering	US	x		Vanderbilt	x	x
Wharton Risk Management and Decision Processes Center	US	x		Wharton	x	
Federal Institute for Risk Assessment BfR	DE		x			
Decision Research	US	x				
EDHEC-Risk Institute	FR	x		EDHEC Business School		x
Global Risk Forum Davos	CH	x		GRF Davos		x
Harding Center for Risk Literacy	DE		x	Potsdam		
Institute of Medicine	SG	x				x
International Risk Governance Council	CH	x				x
The Institute of Risk Management	UK	x				x
Steinbeis Advanced Risk Technologies Group	DE	x		Steinbeis-Hochschule Berlin		
World Economic Forum - The Global Risks Report		x				x

Appendice 1.4

Prima parte - Elenco Istituti del sito SRA e metodologia di ricerca applicata

Istituto di Ricerca	IA	Statistica	Simulazione ottimizzazione	Analisi dei dati	Scienze sociali	Altro
Cambridge Centre for Risk Studies		x		x	x	
Berkeley Center for Catastrophic Risk Management CCRM		x		x	x	
Center for Communication, Health and Risk		x		x	x	
Center for Risk & Crisis Management		x		x	x	
Center for Risk and Reliability CRR		x	x			
Center for Risk Management of Engineering Systems	x	x	x	x		
Centre for the Quantification & Management of Risk		x			x	
Harvard Center for Risk Analysis		x			x	
Centro di Formazione e Ricerca per la Mitigazione del Rischio Sismico - ROSE	x	x	x	x		
COmplex Risk and Data Analysis - CORDA	x				x	
Berlin Risk Institute		x	x			
European Risk & Resilience Institute					x	
Dipartimento di Management, London School of Economics and Political Science	x	x	x	x	x	
Brno University of Technology, Institute of Forensic Engineering, Department of Risk Engineering	x	x	x	x	x	
Center for Bioethics and Social Sciences in Medicine					x	x
Centre for Risk Research	x	x	x	x	x	
Centre of Excellence for Biosecurity Risk Analysis	x	x	x	x	x	x
Chalmers University of Technology, Architecture and Civil Engineering, Geology and Geotechnics			x			x
Cornell University, Department of Communication, College of Agriculture and Life Sciences					x	
Division of risk management and societal safety, Faculty of Engineering, Lund University		x	x		x	x

Appendice 1.5

Seconda Parte - Elenco Istituti del sito SRA e metodologia di ricerca applicata

Istituto di Ricerca	IA	Statistica	Simulazione ottimizzazione	Analisi dei dati	Scienze sociali	Altro
Drexel University, Dornsife School of Public Health, Department of Environmental and Occupational Health		x		x	x	
ETH Risk Center	x	x	x	x	x	
Health & Risk Communication Center HRCC		x			x	
Comunicazione sui rischi per la salute, Università di Hong Kong						
Institute for Advanced Sustainability Studies		x			x	
Institute for Reliability and Risk Analysis	x	x		x		
Istituto di scienze della sicurezza e del rischio			x		x	x
Institute of Hazard, Risk and Resilience			x		x	x
Iowa State University, ingegneria dei sistemi industriali e di produzione	x	x	x	x		
Istituto congiunto per la sicurezza alimentare e la nutrizione applicata		x	x		x	
Karolinska Institutet		x		x	x	x
Università di Lund, Human Factors & System Safety					x	
North Carolina State University, Dipartimento di ingegneria civile, edile e ambientale	x	x	x			
North Central Risk Management Education Center						
NUS Risk Management Institute	x	x	x			
RAND Homeland Security and Defense Center	x	x	x	x	x	x
Steinbeis University di Berlino, Advanced Risk Technologies Institute	x	x	x	x		
The Center for Health & Risk Communication					x	
Centro per la gestione del rischio e la sicurezza sociale		x			x	
Toxicology Excellence for Risk Assessment Center, University of Cincinnati College of Medicine	x		x	x		x
Tulane University, Dept. of Environmental Health Sciences		x			x	

Appendice 1.6

Terza parte - Elenco Istituti del sito SRA e metodologia di ricerca applicata

Istituto di Ricerca	IA	Statistica	Simulazione ottimizzazione	Analisi dei dati	Scienze sociali	Altro
UC Berkeley, Landscape Architecture and Environmental Planning, College of Environmental Design					x	x
Universidad del Pacifico, Escuela de Postgrado, Centro de Educación Ejecutiva						
University of Bonn, Institute of Geography					x	x
University of Calgary, Dept Ecosystem & Public Health						x
University of California, Riverside						x
University of Canterbury	x		x	x	x	
University of Maryland, Reliability	x	x	x	x		
University of Maryland, Department of Civil and Environmental Engineering	x	x	x	x	x	
University of Ottawa					x	x
University of Pretoria, School of Health Systems and Public Health, Environmental and Occupational Health Division						
Vanderbilt University, Civil and Environmental Engineering	x	x	x	x	x	
Wharton Risk Management and Decision Processes Center					x	
Federal Institute for Risk Assessment BfR						x
Decision Research					x	
EDHEC-Risk Institute	x	x		x		
Global Risk Forum Davos					x	
Harding Center for Risk Literacy		x			x	x
Institute of Medicine		x			x	x
International Risk Governance Council	x	x	x		x	
The Institute of Risk Management	x	x	x	x		
Steinbeis Advanced Risk Technologies Group	x			x		
World Economic Forum - The Global Risks Report	x					

Appendice 1.7

Prima Parte - Elenco Istituti del sito SRA e tipologie rischi trattati

Istituto	Finanziario	Operativo	Sismico	Infrastrutturale	Utilities	Informatico	Salute umana	Inquinamento	Catastrofi naturali	Comunicazione	Altro
Cambridge Centre for Risk Studies	x				x	x			x		
Berkeley Center for Catastrophic Risk Management CCRM		x							x		
Center for Communication, Health and Risk							x				
Center for Risk & Crisis Management		x	x				x		x		
Center for Risk and Reliability CRR		x									
Center for Risk Management of Engineering Systems		x		x	x						
Centre for the Quantification & Management of Risk	x							x	x		x
Harvard Center for Risk Analysis	x						x	x			
Centro di Formazione e Ricerca per la Mitigazione del Rischio Sismico - ROSE			x								
COmplex Risk and Data Analysis - CORDA					x		x		x		
Berlin Risk Institute	x	x									x
European Risk & Resilience Institute		x			x				x		
Dipartimento di Management, London School of Economics and Political Science	x										x
Brno University of Technology, Institute of Forensic Engineering, Department of Risk Engineering	x	x		x				x			x
Center for Bioethics and Social Sciences in Medicine							x				
Centre for Risk Research	x	x									
Centre of Excellence for Biosecurity Risk Analysis							x	x			
Chalmers University of Technology, Architecture and Civil Engineering, Geology and Geotechnics				x	x			x			
Cornell University, Department of Communication, College of Agriculture and Life Sciences										x	
Division of risk management and societal safety, Faculty of Engineering, Lund University		x			x				x	x	

Appendice 1.8

Seconda Parte - Elenco Istituti del sito SRA e tipologie rischi trattati

Istituto	Finanziario	Operativo	Sismico	Infrastrutturale	Utilities	Informatico	Salute umana	Inquinamento	Catastrofi naturali	Comunicazione	Altro
Drexel University, Dornsife School of Public Health, Department of Environmental and Occupational Health							x				
ETH Risk Center	x	x	x	x	x	x			x		
Health & Risk Communication Center HRCC										x	
Comunicazione sui rischi per la salute, Università di Hong Kong										x	
Institute for Advanced Sustainability Studies								x			
Institute for Reliability and Risk Analysis		x									
Istituto di scienze della sicurezza e del rischio		x			x				x		x
Institute of Hazard, Risk and Resilience		x	x	x	x				x		
Iowa State University, ingegneria dei sistemi industriali e di produzione	x	x		x		x				x	
Istituto congiunto per la sicurezza alimentare e la nutrizione applicata							x			x	
Karolinska Institutet							x	x			x
Università di Lund, Human Factors & System Safety		x									
North Carolina State University, Dipartimento di ingegneria civile, edile e ambientale				x	x			x	x		
North Central Risk Management Education Center	x	x									
NUS Risk Management Institute	x										
RAND Homeland Security and Defense Center		x		x	x	x					x
Steinbeis University di Berlino, Advanced Risk Technologies Institute	x	x			x					x	
The Center for Health & Risk Communication							x			x	
Centro per la gestione del rischio e la sicurezza sociale	x	x		x							
Toxicology Excellence for Risk Assessment Center, University of Cincinnati College of Medicine							x				
Tulane University, Dept. of Environmental Health Sciences		x		x			x		x		

Appendice 1.9

Terza Parte - Elenco Istituti del sito SRA e tipologie rischi trattati

Istituto	Finanziario	Operativo	Sismico	Infrastruttura le	Utilities	Informatico	Salute	Inquinamento	Catastrofi naturali	Comunicazione	Altro
UC Berkeley, Landscape Architecture and Environmental Planning, College of Environmental Design				x	x				x		
Universidad del Pacifico, Escuela de Postgrado, Centro de Educación Ejecutiva	x	x									
University of Bonn, Institute of Geography							x		x	x	
University of Calgary, Dept Ecosystem & Public Health							x				
University of California, Riverside							x	x			
University of Canterbury			x	x	x				x		x
University of Maryland, Reliability		x				x					
University of Maryland, Department of Civil and Environmental Engineering		x		x	x			x	x		x
University of Ottawa							x	x			x
University of Pretoria, School of Health Systems and Public Health, Environmental and Occupational Health Division		x		x			x	x			
Vanderbilt University, Civil and Environmental Engineering		x		x	x	x	x	x	x		x
Wharton Risk Management and Decision Processes Center	x				x			x	x	x	x
Federal Institute for Risk Assessment BfR							x			x	
Decision Research		x					x			x	x
EDHEC-Risk Institute	x										
Global Risk Forum Davos		x		x					x		
Harding Center for Risk Literacy							x			x	
Institute of Medicine							x				x
International Risk Governance Council		x				x	x	x	x	x	
The Institute of Risk Management	x	x		x	x	x	x				x
Steinbeis Advanced Risk Technologies Group		x		x	x						
World Economic Forum - The Global Risks Report	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x