

# ANALISI DI RISCHIO DELLE INFRASTRUTTURE CRITICHE DEL SOTTOSUOLO

*Estratto dal manuale concernente l'“Analisi di rischio delle infrastrutture critiche del sottosuolo: un approccio integrato”, realizzato a cura del Laboratorio Sottosuolo della Regione Lombardia, Direzione Generale Reti e Servizi di Pubblica Utilità e Sviluppo Sostenibile - Unità Organizzativa Regolazione del Mercato e Programmazione, Struttura Qualità dei Servizi e Osservatorio - con la collaborazione dell'Ing. E. Cagno e Ing. O. Grande del Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Gestionale.*

## CONTENUTI

---

1. PREMESSA
  
2. PROBLEMATICHE DELL'INTERDIPENDENZA FRA LE INFRASTRUTTURE
  
3. DESCRIZIONE DEL PROGETTO: VADEMECUM PER LA GESTIONE DEGLI ASPETTI DI INTEROPERABILITÀ FRA LE INFRASTRUTTURE DEL SOTTOSUOLO
  - 3.1. Analisi della conformazione e struttura del territorio
  - 3.2. Analisi dei pericoli e dei fenomeni incidentali
  - 3.3. Definizione e valutazione di indici di rischio
  - 3.4. Definizione del modello
  - 3.5. Applicazione e validazione del modello
  - 3.6. Definizione delle linee guida per la pianificazione degli interventi
  
4. EVOLUZIONE DEI GUASTI: AREE COINVOLTE ED ASPETTI TEMPORALI

5. CASE STUDY
  - 5.1. Analisi interoperabilità e effetti target
  - 5.2. Dal guasto ai target: gli impatti da interoperabilità
  
6. STUDIO DEGLI EFFETTI A LUNGO TERMINE DEI GUASTI
  - 6.1. Analisi ed evoluzione dei guasti: il guasto sulla rete acqua
  - 6.2. La propagazione degli effetti a lungo termine: cedimento indotto sulle reti di gas, fognatura e teleriscaldamento
  - 6.3. Interventi di ripristino
  
7. SPECIFICHE TECNICHE PER LA POSA DELLE INFRASTRUTTURE ED EFFETTI DA INTEROPERABILITÀ
  
8. ANALISI DI INTEROPERABILITÀ E APPLICAZIONI: SIMULAZIONI PER LA PIANIFICAZIONE INTERVENTI
  - 8.1. Pianificazione delle emergenze
  - 8.2. Pianificazione degli interventi
  
9. FRAMEWORK PER LA REDAZIONE DELLE LINEE GUIDA

Sin dall'approvazione della Legge regionale 26/2003 si è dato vita ad un'attività di supporto, in particolare, al sistema degli Enti Locali, chiamati ad affrontare per competenza, ma in chiave di innovazione, la gestione del sottosuolo in un'ottica di "approccio integrato" che proponga un nuovo modo di costruire in questo ambito. La questione del rischio è posta come elemento da valutare nella fase di pianificazione dell'intervento da effettuare, diversamente dal passato, anche recente, in cui si prevedevano soltanto garanzie nel caso di un evento dannoso. L'agire secondo questo modello di riferimento è da sé un cambiamento radicale rispetto a ciò che è stato prassi per molti anni. La sua applicazione genera per forza una novità non soltanto nell'ambito della gestione pubblica, ma anche in quello degli operatori e in quello di tutti i soggetti coinvolti a cominciare da quello assicurativo.

Nella accezione più usata Risk Management, "Gestione del Rischio", è l'insieme degli strumenti, dei metodi e delle azioni con cui si misura o si stima il rischio, e successivamente si sviluppano le strategie per governarlo. Questo è tema anche del dibattito attuale per la realizzazione degli interventi di infrastrutturazione del sottosuolo, in quanto questi implicano, diversamente dal passato, che del risk management si tenga conto già in fase di pianificazione, di programmazione e progettazione. Per le reti di sottoservizi il ricorso al Risk Management può aiutare a prevenire il ripetersi delle stesse condizioni di rischio o a limitare il danno quando questo si è ormai verificato. Ciò in quanto introduce nel processo una metodologia sistematica che consente di identificare, valutare e monitorare i rischi associati a attività di gestione, di manutenzione o di sviluppo, in una logica che considera la possibilità di un evento avverso come conseguenza di una interazione tra fattori tecnici e organizzativi.

A livello regionale la legge 26/2003 "Disciplina dei servizi locali di interesse economico generale. Norme in materia di gestione dei rifiuti, di energia, di utilizzo del sottosuolo e di risorse idriche".

All'art. 1 – Finalità e oggetto - (comma 7, lettera b) fa riferimento alla garanzia di livelli di salute pubblica, di sicurezza fisica e di protezione dell'ambiente.

All'art. 2 - Proprietà e gestione delle reti ed erogazione dei servizi – (comma 9, lettera c) riporta la dizione "secondo requisiti di sicurezza e di protezione dell'ambiente", completando, in chiaro, le caratteristiche che deve avere l'intervento operativo nel sottosuolo.

Il successivo regolamento regionale n. 3/2005 "Criteri guida per la redazione del PUGSS comunale" dispone che la redazione del piano debba essere uniformata alle indicazioni contenute nella tabella 2 "Caratterizzazione del sistema delle reti". La tabella individua, nella sezione "interventi operativi" anche quelli relativi ad analisi di rischio.

Malgrado questi riferimenti per la problematica del risk management non esiste un'ampia regolamentazione specifica, se si escludono le altre norme riguardanti:

- o opere localizzate in aree a rischio sismico;

- interventi di sicurezza aventi carattere generale (per quest'ultime esiste una specifica legislazione a cui sono soggetti i gasdotti).

Ne deriva l'assenza di regole di comportamento definite che possano essere di riferimento per il sistema degli Enti Locali e dei gestori dei servizi.

Da una verifica effettuata risulta che i riferimenti alla gestione del rischio sono attualmente poco frequenti, se non del tutto assenti, nei provvedimenti delle Amministrazioni Locali e non trovano riscontro nei regolamenti comunali per la gestione del sottosuolo.

L'applicazione degli interventi che hanno lo scopo di ridurre e/o attenuare i rischi connessi al funzionamento e alla manutenzione delle infrastrutture sotterranee risulta così limitata e condizionata proprio dalla mancata definizione di un "livello di rischio accettabile". Livello che ha delle implicazioni, oltre che sul piano giuridico, anche su quello sociale ed economico.

Naturalmente, tali implicazioni presentano aspetti differenti a seconda che le si considerino nella prospettiva delle Amministrazioni Locali piuttosto che da quella dei gestori.

Se si assume il punto di vista delle Amministrazioni Locali la gestione del rischio attiene la corretta pianificazione delle infrastrutture e la programmazione degli interventi, dal momento che l'assenza di un quadro conoscitivo ben definito e la mancanza di adeguati strumenti a supporto delle possibili scelte possono comprometterne il loro processo.

Di contro, disporre di un sistema per la valutazione dei fattori di rischio connessi agli interventi di manutenzione, ammodernamento o ampliamento delle reti tecnologiche (acqua, luce, gas, pubblica illuminazione, TLC, ecc.) consente di:

1. mettere in atto interventi immediati e/o preventivi per limitare o ridurre gli effetti derivanti dal verificarsi di eventi dannosi;
2. definire procedure ed interventi di mitigazione degli effetti dovuti al verificarsi di condizioni di rischio derivanti da attività interferenti;
3. procedere alla redazione del PUGSS tenendo in debito conto l'impatto che alcune scelte di pianificazione, tra le quali in particolare la fattibilità dei cosiddetti cunicoli tecnologici, produrrebbero sul contesto d'area in relazione alla probabilità del verificarsi di un evento dannoso e alle differenti circostanze di accadimento.

La consapevolezza dell'esistenza di un fattore di rischio, del resto, non implica necessariamente il verificarsi di un danno, in quanto si può restare nella situazione di "possibilità" dell'insorgenza dello stesso.

Tuttavia, si pone l'esigenza per le Amministrazioni Locali di valutare la compatibilità del sistema delle reti tecnologiche con il contesto di riferimento e di effettuare la ricerca di processi pianificatori sicuri per l'uomo e per l'ambiente. E' proprio per questa ragione che dovranno essere privilegiate (ma farà parte di una cultura) tecnologie più sicure per la

posa delle condotte e adottate modalità di controllo e monitoraggio degli interventi o ampliamenti successivamente alla loro realizzazione. Per questa ragione poter disporre di un sistema che, anche attraverso la mappatura relativa alla fragilità globale e locale del sistema delle reti, fornisca indicazioni sui punti di “rottura” più probabili e sui livelli di interferenza tra le condotte, rappresenta per le Amministrazioni Locali uno strumento capace di garantire efficacia ed efficienza nei processi di pianificazione.

Inoltre, la necessità di assicurare la massima protezione ai cittadini, in caso di problematiche e guasti più o meno estesi (ascrivibili alla posa e alla manutenzione degli impianti e delle reti dei sottoservizi) deve essere tenuta nella massima considerazione non soltanto dagli amministratori pubblici ma anche dai soggetti che si occupano della gestione/erogazione degli stessi, nonché da tutti coloro che operano nel settore.

Gli operatori sono, ovviamente, già da ora ben coscienti della possibilità del verificarsi di danni di elevata entità: pertanto si tutelano stipulando diverse forme di garanzia di natura assicurativa nelle ipotesi di sinistri riconducibili agli impianti e alle reti costruiti e mantenuti. Queste assicurazioni li proteggono per le ipotesi principali di sinistri - sia naturali che causati direttamente o indirettamente dall’attività dell’uomo – garantendo i risarcimenti per danni causati a uomini e cose. Va registrato che sul mercato esistono polizze estremamente diverse nel contenuto per parametri sulla valutazione del rischio, che si ripercuote su premi e massimali. Il che dimostra, da un’altra prospettiva, che la mancanza di modello di riferimento sul rischio crea ulteriori problematiche. Infatti, la conoscenza delle diverse sorgenti di rischio e delle interrelazioni tra le stesse non è purtroppo al momento studiata in modo approfondito. I diversi contratti d’assicurazione utilizzati trattano la materia secondo criteri tradizionali, prevedendo le usuali fattispecie di rischio tipiche degli impianti industriali. In effetti, per quanto attiene le infrastrutture dei sottoservizi, le forme di garanzia assicurativa dovrebbero prendere in esame soprattutto i livelli di interferenza tra reti adiacenti, oltre ai parametri come lo stato di conservazione, lo stato di fessurazione, lo stato di friabilità, il rilascio superficiale, l’accessibilità, la frequenza di accesso, la struttura di sostegno, la distanza da fabbricati, la vetustà della condotta, ecc. Si evidenzia che le polizze assicurative atte a garantire ai gestori la copertura economica almeno parziale in caso di danni causati da eventi o malfunzionamenti si differenziano in rapporto alla tipologia di reti.

Gli interventi relativi alla gestione e manutenzione delle reti gas sono quelli maggiormente esposti a situazioni di rischio. Viceversa nel settore delle telecomunicazioni i rischi connessi a danni non previsti sono abitualmente molto ridotti e al più riconducibili agli interventi di manutenzione o sviluppo della rete. Tali operatori assumono, in genere, una copertura ridotta alla sola responsabilità civile che incide con percentuali poco significative sui costi generali di gestione. In sintesi, esiste, dal punto di vista del gestore, un interesse a considerare i costi assicurativi come suscettibili di diminuzione in ordine ad una minore incidenza di rischio accertato.

Per contro le Amministrazioni Locali hanno il compito di considerare questo aspetto come qualificante della loro attività pianificatoria e tale da comportare una sua

considerazione in sede di stipula di contratti di servizio con i propri gestori/fornitori di servizi.

Tale discorso non può tra l'altro essere autonomo rispetto all'altro grande e attuale tema in ordine di sottoservizi: quello inerente l'introduzione di nuove tecnologie non invasive nei lavori nel sottosuolo. Soltanto la conoscenza delle tecniche e dei materiali maggiormente innovativi, unitamente alla conoscenza delle sorgenti e dei fattori di rischio, consentiranno (si auspica a breve termine) di costruire il nuovo e di mantenere il vecchio con "criterio e razionalità", consentendo lo svolgimento di analitiche attività di controllo e monitoraggio delle infrastrutture e interventi tempestivi. Per la sicurezza e l'incolumità dei cittadini non è più pensabile continuare ad adottare il sistema fino ad oggi seguito. Sistema con cui ci si limita a costruire nel sottosuolo, prevedendo garanzie nel caso di verificarsi di un evento dannoso. La nuova visione che si sta affermando impone di intervenire "ex ante" attraverso nuove conoscenze e nuove tecniche, per prevedere e evitare il verificarsi di danni futuri.

Il quadro illustrato ha incentivato il "Laboratorio Sottosuolo" della regione Lombardia a dar corso a un'attività di studio finalizzata ad affrontare la problematica della gestione del rischio quale componente di rilievo nei processi di pianificazione e di programmazione del sottosuolo. In particolare, si è presa in considerazione la possibilità di sviluppare una metodologia per l'individuazione e la valutazione dei fattori di rischio connessi agli interventi sulle reti tecnologiche (acqua, luce, gas, pubblica illuminazione, TLC, ecc.) e degli effetti derivanti dalle interferenze che ogni tipologia di rete può esercitare su quelle eventualmente alloggiare nelle immediate vicinanze.

La scelta degli interventi più opportuni potrà, dunque, derivare dalla disponibilità di adeguati strumenti di tipo previsionale che, simulando possibili scenari di rischio, orientino opportunamente le scelte di pianificazione e consentano di assumere decisioni adeguate. Il fine è quello di supportare il decisore pubblico nelle diverse scelte di sviluppo non solo urbanistico ma anche economico e sociale. La conoscenza dei fattori di rischio concorre, infatti, insieme agli aspetti geologico-tecnici, urbanistici, territoriali e al sistema della mobilità, a comporre il quadro di riferimento necessario ai fini della redazione del Piano Urbano Generale dei Servizi del Sottosuolo (PUGSS) che i Comuni sono chiamati ad approvare in quanto parte integrante del Piano di Governo del Territorio (PGT). La realtà presa in esame per la conduzione dello studio è quella del centro storico di Cremona, sulla quale la metodologia è stata applicata al fine di esaminare e modellizzare i fattori di rischio connessi alle infrastrutture relativamente ad un'area caratterizzata da problematiche complesse, nella quale si possono identificare la maggior parte delle tipologie di sottosuolo urbano. La flessibilità della metodologia messa a punto, basata sulla definizione di specifici indici di rischio sintonizzabili su differenti condizioni operative, peraltro, offre la prospettiva di generalizzare il modello in altre realtà cittadine. Nelle pagine che seguono vengono, pertanto, illustrati gli obiettivi generali dello studio e quindi fornita una descrizione della metodologia di valutazione dei rischi individuata e dei risultati della sua applicazione nel centro storico del Comune di Cremona.

## 1. PREMESSA

In differenti settori ed ambiti, sia pubblici che privati, si tratta ormai da anni il problema delle infrastrutture critiche, ovvero di quelle infrastrutture di servizio ritenute vitali per la cittadinanza dal punto di vista strategico. A questo proposito si cita la cosiddetta “Direttiva Clinton” (Clinton, 1998), che riconosceva il problema delle infrastrutture critiche come problema di rilevanza nazionale, seppur inizialmente riferita alle sole infrastrutture informatiche.

Addetti e decisori a livello nazionale e locale si trovano dunque a dover garantire i propri cittadini sotto due differenti aspetti pur interrelati: la necessità di assicurare ad essi il supporto dei vari servizi (acqua, elettricità, comunicazione etc.) e garantire che le stesse reti infrastrutturali non siano fonte di danno in caso di problematiche e guasti più o meno estesi.

Per valutare tali vulnerabilità si utilizza il concetto di “societal risk”, ovvero la combinazione, nell’analisi, di sorgenti di rischio presenti sul territorio e tessuto sociale esposto ai medesimi rischi; la società contemporanea infatti gode i benefici e sfrutta i servizi disponibili in maniera così pervasiva da essere fortemente dipendente da essi ed, in ultima analisi, fortemente vulnerabile alla mancanza degli stessi.

Il “societal risk” è dunque connesso agli aspetti ed alle caratteristiche infrastrutturali, ma anche alla natura e costituzione della società che di tali reti di servizio fa irrinunciabile uso.

Va da sé come l’efficienza del servizio in generale sia fortemente dipendente dalla funzionalità complessiva del sistema: le componenti che con il loro funzionamento garantiscono l’erogazione e la distribuzione di un servizio (es. acqua potabile o gas per uso domestico) dipendono più o meno fortemente dal fatto che altre strutture funzionino; in tal senso è d’esempio la distribuzione dell’energia elettrica, che è alla base di quasi ogni infrastruttura.

Si parla quindi di “Protezione delle Infrastrutture Critiche” (CIP, Critical Infrastructure Protection) in relazione alle strategie atte alla minimizzazione dei rischi (ed alla mitigazione degli impatti dannosi) che riguardano le suddette infrastrutture; gli esempi sono molteplici ed esistono lavori in merito anche in ambito nazionale (Linee Strategiche CNIPA, 2008) pur limitati al settore informatico.

Più difficile risulta affrontare il problema in generale e garantire ad ampio spettro questa ridondanza o capacità del sistema di non collassare a fronte di alcuni guasti critici. Ciò nel dettaglio significa due cose:

- 1) Conoscere le singole infrastrutture, i principali guasti (e cause) cui possono andare incontro;
- 2) Predirne le conseguenze sulle altre infrastrutture a seguito di malfunzionamenti o guasti all’infrastruttura da cui esse traggono, in qualche modo, un servizio necessario al proprio funzionamento.

Affrontare il problema da un punto di vista olistico comporta la revisione del concetto di “livello di servizio”, poiché per essere questo un indice esaustivo deve comprendere l’insieme infrastrutturale nella sua totalità, con l’analisi di guasti ed effetti (impatti) generalizzati all’intero insieme di infrastrutture e target.

La complessità (e la difficile prevedibilità di comportamento) di un insieme di infrastrutture rende l’argomento assai critico e necessita di strumenti adeguati di analisi e previsione. Il metodo di seguito descritto ha proprio come obiettivo sia la migliore analisi del comportamento “a guasto” delle infrastrutture, sia l’integrazione degli effetti delle interdipendenze nella considerazione globale del rischio infrastrutturale e sociale.

In definitiva il problema si pone, dal punto di vista dei decisori, come necessità di meglio comprendere i malfunzionamenti, nel loro complesso, e soprattutto, di prevederne gli effetti nefasti nei confronti degli obiettivi vulnerabili. Per avere a disposizione i dati e le informazioni utili alle decisioni ed alle pianificazioni (di interventi manutentivi, piuttosto che di Emergenza) sono necessarie alcune funzionalità e capacità di analisi:

- capacità di simulare scenari incidentali ed impatti con specifica indicazione geografica di evento iniziatore e zone colpite dai danni;
- visione integrata, ovvero la possibilità di ricomprendere differenti tipologie di guasto, di infrastrutture interessate ed infine di aree più o meno estese (o specifiche) in relazione alle esigenze;
- prioritizzazione, tramite quantificazione degli effetti, degli interventi e definizione delle modalità operative.

## 2. PROBLEMATICHE DELL'INTERDIPENDENZA FRA LE INFRASTRUTTURE

Le infrastrutture critiche sono per loro stessa natura di complessa costituzione e gestione: multicomponenti, spesso di notevole vetustà e soggette a molteplici interazioni con l'esterno, sia dal punto di vista ambientale, sia di interazione con altre infrastrutture. Tale complessità si riflette anche nella comprensione del loro comportamento in esercizio e nella previsione degli scenari di guasto. In altre parole la comprensione fenomenologica di un sistema multidimensionale, dall'elevata complessità tecnologica di processo e con rilevanti interazioni con l'ambiente umano richiede uno sforzo modellistico non indifferente.

Concetto fondamentale per l'analisi è quello della "interoperabilità", che sintetizza gli effetti di inoperabilità di una infrastruttura sul funzionamento delle altre da essa dipendenti (Haines & Jiang, 2001; Setola, 2007). Per ogni infrastruttura (o servizio) è quindi analizzata la "forza" della dipendenza dalle rimanenti.

Lo studio in oggetto è quindi, in sintesi, rivolto alla previsione del comportamento del sistema critico a fronte di malfunzionamenti (o guasti) e conseguenti perdite, anche parziali, di erogazione del servizio: gli effetti possono essere riassunti in danni verso gli utenti o perdite di natura economica, a seconda del tipo di servizio considerato (Rinaldi, 2001).

La definizione stessa di infrastruttura critica, ad oggi, comprende il concetto di (inter)dipendenza: negli anni è passata dal concetto di "sito" sensibile, vulnerabile a forzanti di varia natura, a quello di insieme infrastrutturale, in cui esistono sia i nodi ovvero i siti (in senso lato) vulnerabili, ma cui si aggiunge la criticità delle interconnessioni di natura informatica, elettrica o di distribuzione di servizi in genere (ad es., oil & gas).

D'altra parte il problema riguarda la consistenza e la natura degli oggetti: si hanno beni da proteggere, la cui concretezza ne rende più agevole l'individuazione e la gestione, ma anche asset intangibili come la garanzia di continuità di erogazione del servizio, quale esso sia, per la assai più pesante ricaduta in termini di collasso della comunità interessata.

La necessità di proteggere le infrastrutture nell'accezione contemporanea quindi prescinde dal semplice valore del bene in sé, quanto piuttosto si rivolge alla tutela della qualità del servizio erogato in termini sia economici che puramente sociali.

In tal senso alcuni servizi vanno considerati altamente critici (ad es., sistema stradale e servizi alla persona) e di fatto irrinunciabili.

Interessante precedente nel campo dell'analisi delle infrastrutture critiche viene dal lavoro svolto nei Paesi Bassi per l'individuazione dei principali prodotti e servizi ritenuti vitali per il paese (Luijck, 2003).

Tale lavoro infatti indica un elenco di settori e relativi prodotti o servizi erogati ritenuti vitali per il funzionamento del sistema paese. Ciò che va notato è la base di dati utilizzata assai consistente (interviste ad esperti, 130 organizzazioni coinvolte, 17 workshop per l'analisi dei dati) e soprattutto la consistenza con i risultati indicati da analoghi studi svolti in altri paesi (Wenger, Metzger & Dunn, 2002). Ciò è sufficiente per ritenere l'elenco ottenuto esaustivo per ulteriori analisi e di fatto estendibile allo studio rivolto alle infrastrutture critiche di paesi analoghi per caratteristiche socioeconomiche a quelli considerati (Australia, Canada, Germania, Norvegia, Italia etc.).

Un primo risultato individuato peraltro nelle interviste concorda nel dare massima priorità in termini di criticità ai servizi fondamentali come: acqua potabile, cibo, servizi per la salute, telecomunicazione e trasporti.

Infine la letteratura (Luijck, 2003) propone due importanti definizioni per distinguere la natura delle (inter)dipendenze fra infrastrutture e servizi:

- vitalità indiretta (indirect vitality): si definisce vitalità indiretta il contributo di un prodotto o servizio ad un prodotto o servizio correlato, in termini di continuità di servizio; rappresenta dunque il grado di dipendenza espresso fra due variabili rappresentanti due prodotti o servizi;
- vitalità diretta (direct vitality): rappresenta il contributo diretto alla continuità della società, ovvero quanto una variabile influisce direttamente sui target finali (persone, beni, ambiente, etc.) individuati.

In base alla definizione di vitalità diretta ed indiretta e previa individuazione dei principali servizi e target finali, è possibile svolgere la quantificazione dei legami, compilando apposite matrici sintetiche.

Si fa notare come gli effetti, diretti ed indiretti, abbiano più ordini, nel senso che è possibile che la mancanza di un servizio (o la riduzione della sua erogazione) abbiano effetti a cascata, sia su altri servizi che target (ad es., la mancanza di erogazione del gas ha effetto diretto del primo ordine sulle utenze, per mancanza di riscaldamento; ciò potrebbe, a sua volta, causare un incremento di malattie da raffreddamento, influenzando i servizi sanitari). Per semplicità di trattazione e, soprattutto, di analisi, si sceglie di effettuare un taglio solo sugli effetti del primo ordine. Evidentemente i risultati dell'analisi dovranno tenere in conto anche la possibilità di ulteriori sviluppi degli effetti considerati, ampliando le dimensioni dell'analisi (ad es., ulteriori matrici di rappresentazione delle dipendenze, di ordine superiore al primo).

### **3. DESCRIZIONE DEL PROGETTO: VADEMECUM PER LA GESTIONE DEGLI ASPETTI DI INTEROPERABILITÀ FRA LE INFRASTRUTTURE DEL SOTTOSUOLO**

L'obiettivo del progetto è duplice: sviluppare una metodologia di identificazione e valutazione dei rischi (nell'accezione di "societal risk") connessi alle infrastrutture del sottosuolo (con riferimento ad una specifica area urbana di interesse storico artistico) e definire delle linee guida per la pianificazione dei relativi interventi di manutenzione ed ampliamento sulla base dei risultati della valutazione dei rischi effettuata. Il progetto ha come oggetto di indagine sperimentale il centro storico di Cremona, con la prospettiva di successiva generalizzazione del modello ad altre realtà cittadine grazie alla flessibilità dello strumento di analisi basato sulla definizione di specifici indici di rischio sintonizzabili su differenti condizioni operative.

Il progetto è articolato in sei fondamentali parti, dettagliate nel seguito. Le parti descritte inoltre rappresentano i punti principali di un vademecum utile agli amministratori/gestori delle infrastrutture pubbliche per impostare un corretto approccio al problema delle interoperabilità fra le infrastrutture urbane del sottosuolo e non.

#### **3.1. Analisi della conformazione e struttura del territorio**

L'obiettivo di questo step è quello di descrivere la conformazione del territorio sia dal punto di vista dei beni (edifici, strade, negozi, monumenti, ...) che dei servizi (siano essi interrati o di superficie) e di caratterizzarlo dal punto di vista della fruizione da tutte le parti interessate (cittadini, operatori, amministrazione, ...):

- 1) Definizione della struttura del territorio e analisi della mobilità e della comunicazione
- 2) Identificazione, classificazione e descrizione delle principali infrastrutture del sottosuolo e della loro utilità per la comunità
- 3) Identificazione, classificazione e descrizione dei principali beni (edifici, strade, negozi, monumenti,...) e della loro utilità per la comunità
- 4) Identificazione, classificazione e descrizione dei principali servizi di superficie (trasporto pubblico, aree pedonali, shopping, entertainment, ...) e della loro utilità per la comunità

A valle delle precedenti analisi è possibile produrre un resoconto (integrazione di basi di dati) sulla struttura del territorio in termini di edifici, vie di comunicazione, monumenti, ecc.) e delle parti interessate.

#### **3.2. Analisi dei pericoli e dei fenomeni incidentali**

L'obiettivo di questo passo è quello di descrivere, i pericoli correlati alle infrastrutture del sottosuolo che possono agire sulle parti interessate (cittadinanza, amministrazione

pubblica, ...) rispetto alla loro utilità (sicurezza, minimizzazione dei disagi, salvaguardia artistica, economicità, ...) e i fenomeni e gli scenari incidentali e a queste legati:

- identificazione, classificazione e descrizione dei principali pericoli connessi alle infrastrutture del sottosuolo;
- descrizione dei fenomeni incidentali e scenari incidentali più verosimili per tipologia di infrastruttura del sottosuolo.

I passi precedenti permettono la redazione di un resoconto sui pericoli esistenti, rispetto ad ogni parte interessata, basato sulle infrastrutture del sottosuolo esistenti e già previste.

### **3.3. Definizione e valutazione di indici di rischio**

L'obiettivo è quello di proporre degli indici di rischio in grado di evidenziare la probabilità di accadimento di eventi scongiurabili e relativi impatti su tutti gli attori coinvolti (pubblici e privati), grazie anche all'acquisizione della modellistica sviluppata dalla comunità scientifica internazionale di riferimento.

Tale analisi potrà suggerire azioni di prevenzione (riduzione della probabilità di accadimento) e protezione (riduzione degli impatti) in termini progettuali ed organizzativi utili a supportare lo sviluppo temporale dell'area considerata dal punto di vista della variazione delle caratteristiche dei beni (variazioni di destinazioni d'uso, di sistemi di protezione rischi, ...) e dei servizi (interrati e di superficie):

- definizione di indici di rischio per tipologia di infrastruttura, bene e/o servizio e utilità delle parti interessate;
- applicazione degli indici ad una porzione dell'area di interesse (progetto pilota) e condivisione dei risultati con l'amministrazione locale.

Come risultato finale si ottiene la valutazione tramite indici sintetici dei principali rischi dell'area monitorata e la condivisione dei risultati ottenuti su una porzione di area urbana (centro storico).

### **3.4. Definizione del modello**

Obiettivo è quello di costruire un modello per la prioritizzazione degli interventi manutentivi e di ampliamento delle infrastrutture del sottosuolo sulla base della letteratura scientifica internazionale di riferimento relativa ai rischi per la cittadinanza, l'amministrazione locale e le società di gestione dei sottoservizi. La stretta correlazione con il precedente punto prevede continui adattamenti del modello ai progressivi sviluppi degli indici di rischio definiti in accordo con l'amministrazione locale.

- Definizione del modello di prioritizzazione degli interventi (prima versione)
- Revisione del modello in base alle sopravvenienze di progetto e ai commenti ricevuti (versione definitiva)

### **3.5. Applicazione e validazione del modello**

L'obiettivo della fase in questione è quello di validare il modello sviluppato nel WP precedente tramite applicazione all'area in esame, secondo i seguenti passi:

- applicazione e validazione della prima versione del modello di prioritizzazione ad una sottoparte dell'area in esame (pilota);
- applicazione e validazione della versione definitiva del modello di prioritizzazione all'intera area in esame.

### **3.6. Definizione delle linee guida per la pianificazione degli interventi**

L'obiettivo è quello di elaborare delle linee guida per la pianificazione degli interventi supposte note le dimensioni degli interventi previsti in termini di estensione spaziale e temporale. In tale contesto si potranno evidenziare possibili sinergie tra le società di gestione e proprietà dei sottoservizi (condivisione attività di scavo, ripristino della pavimentazione originale, riduzione tempi di presentazione delle richieste di intervento) al fine di risettare i vincoli dettati dall'amministrazione locale volti a minimizzare la ghepardizzazione degli interventi ed il relativo disagio per la popolazione locale, business e leisure. Le attività svolte hanno quindi come oggetto la redazione di linee guida per la pianificazione degli interventi sulle infrastrutture del sottosuolo e proposta di spunti per l'estensione della modellistica sviluppata ad altre realtà.

#### **4. EVOLUZIONE DEI GUASTI: AREE COINVOLTE ED ASPETTI TEMPORALI**

La metodologia è costituita essenzialmente dai seguenti passaggi che mirano a soddisfare le esigenze di analisi precedentemente esposte:

- 1) analisi delle evoluzioni dei guasti all'interno delle singole infrastrutture;
- 2) analisi delle evoluzioni dei guasti sulle infrastrutture dipendenti, per ogni tipo di guasto e infrastruttura dipendente;
- 3) stima dei danni in funzione della dimensione temporale, ovvero in relazione a: Evoluzione del danno dal breve al medio e lungo termine e propagazione degli impatti o Quantificazione degli impatti in funzione della tempovarianza.

L'aspetto fortemente innovativo dell'approccio seguito è costituito dalla "spazialità" di cui godono i risultati prodotti dal modello: si è in grado infatti di mostrare, tramite mappe di superficie, dove avverranno gli effetti di malfunzionamento (danni alle persone, blocchi di erogazione etc.) a seguito del guasto primario da cui si diparte l'eventuale propagazione.

Quindi, nella stessa logica, è possibile effettuare il "crossing" su altre infrastrutture con il controllo spaziale delle distribuzioni e propagazioni di danno.

Si può meglio comprendere lo sviluppo dei risultati immaginando due dimensioni, una orizzontale e l'altra verticale. Nel primo caso immaginiamo che un evento di guasto si propaghi su di un piano contenente la rete dell'infrastruttura in questione: l'evoluzione del fenomeno è quindi nota poiché si conosce il punto di partenza e tutti i tratti di infrastruttura colpiti. Nel secondo caso invece, grazie alla conoscenza delle interrelazioni fra due diverse infrastrutture, legate però alla geografia delle stesse, è possibile il passaggio da un piano all'altro, ovvero da una infrastruttura all'altra.

La sintesi dei risultati ottenuti, ovvero la sommatoria dei danni (ed impatti sulla cittadinanza in generale: mancato servizio, disfunzioni prolungate, danni da lucro cessante per le attività commerciali) è proprio la somma degli effetti che si propagano sulla singola infrastruttura e, quindi, all'interno delle altre infrastrutture correlate, generando per ognuna di esse dei danni per gli utenti.

L'aspetto temporale permette invece di tenere in considerazione sia l'aggravarsi dei danni nel corso di lunghi periodi di tempo (è il caso di guasti difficilmente rilevabili, come le fughe di acqua o gas) quando gli effetti si manifestano in tutta la loro gravità, oltre alla variabilità degli impatti a seconda dell'istante in cui si verifica il fenomeno (es. la zona di mercato/fiere in cui la densità aumenta notevolmente in corrispondenza di manifestazioni); nel caso infatti di servizi alle utenze è ovvio come in alcuni momenti della giornata guasti, anche parziali, alle infrastrutture, siano in grado di ridurre il livello di servizio atteso, con forte impatto per le utenze (es. black out elettrici).

## 5. CASE STUDY

In base a quanto esposto nella descrizione del metodo si procede mostrando i risultati dell'applicazione per una realtà urbana di interesse: la città di Cremona è stata infatti utilizzata per le analisi di interoperabilità e, conseguentemente, per la simulazione e verifica degli impatti nei confronti dei "target" presenti in superficie.

Si procede con l'individuazione dell'area interessata e con la suddivisione in piccole zone utili alla descrizione del fenomeno; in particolar modo si sceglie una "grigliatura" appropriata alla tipologia urbana sulla quale analizzare le due tipologie di livelli o dati, vale a dire a) infrastrutture fornitrici di servizio nel sottosuolo b) target vulnerabili agli eventuali danni o mancato funzionamento di una o più infrastrutture.

Vediamo ora come, operativamente, si è proceduto all'analisi. In primo luogo si è definita la mappa e la relativa grigliatura per la zona urbana di Cremona; quindi si è scelta una dimensione capace di ben rappresentare in seguito i dati utili alla gestione del sotto e sopra suolo (scavi, interventi, sospensione delle erogazioni etc.). A questo punto si ha a disposizione la mappa della zona di analisi.

Scendendo idealmente di livello si sono ottenuti ed elaborati i dati per ognuna delle infrastrutture presenti e relativi dati e layout fisici.

Analoga operazione è stata effettuata per i target.

Quindi tramite interviste agli esperti coinvolti nella gestione delle infrastrutture e nella manutenzione ed intervento si è giunti a definire i principali guasti e i più frequenti o critici malfunzionamenti, identificandone gli effetti in termini di 1) danno alle infrastrutture adiacenti 2) danni diretti ai target di superficie.

Infine si è proceduto al censimento dei principali target presenti in superficie, tenendo in considerazione la tipologia artistico urbana dell'area in analisi (centro storico), ed ottenendo le seguenti classi oltre ad una quantificazione dei livelli di danno previsto.

### 5.1. Analisi interoperabilità e effetti target

Da questo punto in poi si dispone di tutti i dati relativi ai singoli oggetti, ovvero infrastrutture e classi di target: si è giunti quindi al problema della definizione delle interdipendenze (per quanto riguarda le infrastrutture) e degli effetti sui target, che necessitano di un legame con le infrastrutture da cui possono ricevere danni.

In tal senso opera l'approccio qui presentato, poiché in grado di interrelare le singole infrastrutture in termini di interdipendenza funzionale e di prevedere l'estensione di potenziali danni sulla superficie di riferimento. La prima fase restituisce dei valori di riferimento che sintetizzano, a valle dell'analisi, l'esistenza (e la forza) del legame

funzionale fra le differenti infrastrutture: se una struttura ad esempio dipende per l'80% della sua funzionalità da un'altra (vale a dire se al cessare del funzionamento o in caso di guasto perde, ad esempio, 8 componenti su 10) allora si avrà un coefficiente pari a 0,8. La sintesi relativa ad una singola infrastruttura mostra, per ogni area di partenza di un guasto, l'associata potenziale area colpita. Un coefficiente pari a 1 significa la dipendenza al 100% fra due aree (blocco totale in caso di guasto).

In maniera del tutto analoga, per ogni singola infrastruttura, è possibile indicare la gravità del guasto e, per fare ciò, si utilizza un vettore i cui coefficienti diversi da zero rappresentano il verificarsi di un guasto, riferito alla zona in cui si è verificato.

A questo punto il modello tramite computo ed iterazioni opportune restituisce la propagazione del guasto in primis per la singola infrastruttura, quindi per le infrastrutture correlate. Per quanto detto è quindi possibile analizzare la propagazione del guasto dell'infrastruttura. Inoltre, estendendo l'approccio a livello "macro" per differenti infrastrutture, si può ottenere a partire da un guasto l'evoluzione interna ed esterna (interoperabilità); nell'esempio si analizza come un guasto in zona dell'infrastruttura elettrica si ripercuota sulla distribuzione del teleriscaldamento.

Proprio la matrice rappresentata è la sintesi dell'approccio integrato: si è in grado di prevedere e simulare contemporaneamente la propagazione del guasto su tutta la rete colpita, ma anche di analizzare la propagazione su altri servizi correlati, con gli stessi dettagli geografici.

## **5.2. Dal guasto ai target: gli impatti da interoperabilità**

Una volta definito tutto ciò che concerne i guasti, cause, propagazione e effetti di interoperabilità, è necessario legare tali risultati con i target superficiali, in qualche modo l'operazione si può immaginare come una sovrapposizione di layout in cui le zone colpite da guasto nel sottosuolo fanno sentire i propri effetti sulla superficie e sulle persone od oggetti in essa presenti.

L'ideale layout degli obiettivi è costituito da una mappa contenente i valori che quantificano le varie classi: 1) numero di persone (persone residenti/utenti e persone in transito), 2) valore dei beni in caso di edifici storico-artistici e residenziali piuttosto che valore delle attività commerciali; per quantificare i valori dei beni si è fatto uso di scale di quantificazione.

Per ottenere un indice di rischio omogeneo si utilizzano infine dei coefficienti che trasformino le quantità di differente natura in "persone equivalenti" esposte al rischio: per fare ciò il decisore deve fornire, in base a proprie considerazioni, un valore di confronto fra le varie classi, dai cui si ricavano pesi percentuali utilizzati nell'integrazione.

A questo punto il metodo fornisce delle mappe sintetiche che integrano i "livelli" appena descritti, per il caso di propagazione del guasto che ha effetto sull'infrastruttura elettrica e

quindi di distribuzione del teleriscaldamento: in tal caso sono evidenziati i seguenti dettagli:

- propagazione del guasto all'interno della infrastruttura in cui si sviluppa lo stesso,
- espansione sull'infrastruttura dipendente e propagazione del guasto indotto,
- calcolo degli impatti in base alla presenza e valore degli obiettivi vulnerabili ai servizi forniti dalle due infrastrutture nonché ai guasti provocati.

## 6. STUDIO DEGLI EFFETTI A LUNGO TERMINE DEI GUASTI

La metodologia sviluppata è in grado di valutare come, a seguito di un guasto, i danni diretti dello stesso si distribuiscano sui target di superficie e come, sempre a seguito di un guasto, il disservizio si propaghi all'interno della rete di distribuzione del servizio in esame. È stato mostrato, inoltre, come la metodologia consenta di simulare il comportamento di due reti di distribuzione interdipendenti tra loro. Si è visto, infatti, come un guasto su una rete possa portare dei danni e generare dei disservizi anche alla rete di distribuzione interrelata.

Si mostrerà ora come la metodologia sviluppata sia in grado di considerare anche i danni a lungo termine che le reti di trasporto fluido possono arrecare alle altre reti di distribuzione.

La necessità di studiare anche questo aspetto è emersa studiando le cause dei principali guasti di lungo periodo della rete gas, della rete fognaria e del teleriscaldamento; il buon funzionamento di tali infrastrutture è possibile a patto che sia garantita la stabilità del letto di posa.

Il dissesto del letto di posa è, come è intuibile, un fenomeno a lungo termine: il suo manifestarsi è infatti temporalmente posteriore rispetto alla causa che l'ha innescato.

La causa principale in grado di generare dissesti e smottamenti è la presenza di acqua nel terreno, dovuta a perdite della relativa infrastruttura di distribuzione (es. acqua potabile).

Nel successivo paragrafo verrà mostrato, attraverso un esempio, come una perdita di acqua, originatasi nella relativa infrastruttura di distribuzione, sia in grado di generare a lungo termine dei dissesti del terreno. Verrà mostrato inoltre come tali dissesti vadano a provocare dei danni alle reti di gas metano e rete fognaria, inficiandone il corretto funzionamento.

Più nello specifico, verrà analizzato come una perdita nel settore C3 della zona di analisi sia in grado di indurre nel tempo un cedimento delle reti di distribuzione del gas e della rete fognaria.

Il settore scelto è centrale alla zona di analisi e risulta particolarmente critico in virtù della molteplicità di sottoservizi ad esso afferenti. E' bene precisare come l'analisi qui proposta sia solamente un esempio di risultato ottenibile; è infatti possibile estendere la simulazione e valutare la risposta dell'intero sistema, ovvero simulare l'andamento dei livelli di rischio:

- al variare delle aree colpite dal guasto di una singola infrastruttura,
- al variare del tipo di guasto per infrastruttura,
- come sommatoria di differenti tipi di guasto in tutta l'area considerata.

## **6.1. Analisi ed evoluzione dei guasti: il guasto sulla rete acqua**

Come anticipato, si analizzano le ripercussioni di lungo periodo di una perdita di acqua originatasi nel settore C3 della zona di analisi.

Come visto in precedenza, attraverso le matrici di interoperabilità, è possibile analizzare come il guasto provochi un disservizio ai target di superficie e agli altri servizi. Si ricorda come i tempi di riferimento siano pari a 15 minuti (T1), 6 ore (T2), 24 ore (T3).

Per simulare gli effetti complessivi di un guasto nella zona analizzata si prenda come esempio un tipico guasto alla infrastruttura di distribuzione dell'acqua potabile: ad esempio la rottura di una condotta. A seguito dell'evento si è in grado di valutare:

- evoluzione spazio – temporale del danno,
- calcolo dei livelli di rischio associati,
- effetti a lungo termine sulle altre infrastrutture.

Inserendo infatti un guasto completo (rottura condotta) in una zona centrale del centro storico di Cremona (area C3) si evidenzia l'effetto in termini di “persone equivalenti” coinvolte nel breve termine (T1, ovvero 15 minuti); in tal caso l'effetto è praticamente confinato nell'area colpita. Con il passare del tempo (dalle 6 alle 24 ore) l'effetto si propaga coinvolgendo le aree adiacenti interessate dalla dorsale. Nel calcolo del danno sono considerati:

- effetto diretto sui target (es. persone residenti o in transito),
- mancata erogazione del servizio (es. utenze domestiche senza acqua potabile),
- danni alle attività commerciali (es. utenze alberghiere e della ristorazione).

Infine, come appare nella descrizione dei target (vedi edifici), sono da considerarsi i danni alle infrastrutture che in questo caso possono ritenersi trascurabili, ma che, in generale, derivano da cedimenti del terreno. Lo stesso motivo porta a potenziali danni per le infrastrutture che utilizzano tubazioni appoggiate a letto di posa, per cui si analizza l'evoluzione e l'interoperabilità di tali fenomeni di guasto.

Dopo aver valutato la propagazione del disservizio, è ora possibile studiare l'evoluzione temporale dei danni diretti conseguenti al guasto. Come è possibile osservare dalle matrici e dai diagrammi, gli effetti del danno vengono avvertiti solo nel sottosettore in cui si è verificato il guasto ed aumentano allo scorrere del tempo.

## **6.2. La propagazione degli effetti a lungo termine: cedimento indotto sulle reti di gas, fognatura e teleriscaldamento**

Come accennato in precedenza, la fuoriuscita di acqua è in grado di provocare a lungo termine dissesti nel terreno circostante, inducendo possibili cedimenti della rete del gas metano, fognatura e della rete di teleriscaldamento. Si riportano i valori di danno massimo complessivo della rete gas e della rete di teleriscaldamento conseguenti ad un cedimento di tali infrastrutture nel settore in esame.

Inoltre da interviste ai responsabili delle reti di infrastrutture sopra elencate, è stato possibile stimare quanto una fuoriuscita di acqua sia in grado di aumentare la frequenza di guasto delle reti di gas metano, fognatura e teleriscaldamento. Date le caratteristiche del terreno, omogenee in tutta la zona di analisi, una perdita di acqua che si protragga per un tempo superiore alle 6 ore, è in grado di provocare dei dissesti nel terreno, a loro volta in grado di triplicare la frequenza di guasto delle infrastrutture di gas metano e della rete fognaria transitanti nella stessa area.

Nella analisi seguenti, verrà preso in considerazione un tempo “superiore alle 24 ore”, indicato come “T4”: questo permetterà di meglio capire le dinamiche di guasto a lungo termine.

Come precedentemente espresso, quindi, una fuoriuscita di acqua è in grado, nel lungo periodo, di triplicare la frequenza di guasto delle infrastrutture di rete gas e rete fognaria, triplicandone dunque il rischio. Il danno conseguente ad un guasto della rete acqua, quindi, potrà essere valutato ora prendendo in considerazione anche gli effetti indotti, ad esempio, a lungo termine sulla rete gas e sulla rete fognaria.

### **6.3. Interventi di ripristino**

Le conseguenze di un guasto non sono solamente quelle immediate dovute ai danni che tale guasto provoca sui target di superficie e alla mancata erogazione del servizio. Il danno complessivo deve anche tenere in conto i possibili effetti che tale guasto può avere a lungo termine sulle altre infrastrutture (e di conseguenza sui target).

A livello ideale, a seguito di un intervento, bisognerebbe ripristinare completamente il funzionamento del servizio, azzerando tutti i rischi da esso scaturibili.

Realmente, però, in sede di intervento bisogna prendere in considerazione alcune variabili che consentono sì la riduzione del rischio, ma che rendono di fatto impossibile l’azzeramento completo dello stesso.

Durante l’esecuzione di uno scavo vi è infatti la probabilità di danneggiare le condotte di altri sottoservizi posati in prossimità del sottoservizio sul quale si sta intervenendo, generando istantaneamente un disservizio su un’altra rete di distribuzione.

A seguito dell’intervento di scavo, inoltre, è possibile che il terreno di riporto, smosso o sostituito durante i lavori, abbia dei movimenti di assestamento distribuiti su un arco temporale più o meno esteso. Questo può generare dei guasti a lungo termine su quelle infrastrutture di servizio che necessitano la stabilità del letto di posa.

Vi è inoltre da valutare che, per l’esecuzione dell’intervento di ripristino, è necessario installare localmente un piccolo cantiere. Tale ingombro fisico può compromettere la continuità di alcuni servizi di superficie. Il cantiere manutentivo, quindi, è in grado di

interferire con i target di superficie. Esso può creare disturbo a target quali le persone in afflusso e residenti, le quali vedono ridotta la loro possibilità di movimento, le attività commerciali, le quali vedono fortemente limitata la possibilità per i clienti di approvvigionarsi presso di essi, oltre che per i servizi, a causa dell'ostacolo fisico in grado di limitare sia le attività dei servizi, sia l'afflusso delle persone che necessitano di essi.

A fronte di tali considerazioni, quindi, possiamo riassumere come il rischio residuo sia costituito dalla somma dei rischi di compromettere direttamente l'integrità di altri sottoservizi afferenti all'area, di provocare dei dissesti del terreno a lungo termine, di allestire un cantiere in grado di interferire direttamente con i target di superficie.

## **7. SPECIFICHE TECNICHE PER LA POSA DELLE INFRASTRUTTURE ED EFFETTI DA INTEROPERABILITÀ**

Come già noto la compresenza di infrastrutture del sottosuolo rappresenta una problematica notevole in sede di posa e manutenzione. La coincidenza o incrocio delle reti (a differenti profondità) o la contiguità rappresentano fonte di mutui danni e spesso di danni alle presenze nel soprasuolo ed agli operatori.

Studi in merito sottolineano come alcune linee (vedi linee elettriche o distribuzione di gas ed acqua) siano particolarmente critiche e necessitino di attenzioni in fase di posa. Si fa notare infatti che “ Le vicinanze e gli incroci delle linee elettriche con altri impianti devono essere evitati o limitati al minimo.

Le vicinanze, i parallelismi e gli incroci di linee elettriche con altri impianti devono essere disposti in modo che le linee e gli impianti non possano danneggiarsi o influenzarsi reciprocamente ed in modo da non costituire ostacolo reciproco all’esercizio ed alla manutenzione” (Specifiche tecniche per la posa di sottoservizi, Manuale per la posa razionale delle reti tecnologiche nel sottosuolo urbano, Bollettino Ufficiale Regione Lombardia n. 45, novembre 2007).

Tale premessa è appunto realizzata dal punto di vista applicativo dal metodo illustrato, poiché si dà delle precedenti indicazioni una oggettivazione in termini di infrastrutture coinvolte (ad esempio partendo dai guasti alla linea elettrica) ed una quantificazione dei danni. Valga come esempio lo studio effettuato per verificare i danni alla rete di teleriscaldamento (ed alle persone servite) dato un black-out elettrico, la cui analisi infatti mostra la criticità legata alla compresenza di linee elettriche e corrispondente infrastruttura di teleriscaldamento (cabine 353, 157 e 255 e relativi cavi), indicando le zone coinvolte in termini di mancanza di servizio e le zone di potenziale danno diretto su operatori e persone.

Per quanto riguarda invece le infrastrutture idriche l’analisi dei guasti e degli effetti (FMECA) unita alla valutazione delle interoperabilità conferma la criticità dei guasti già noti:

- Perdita dalle giunzioni o dai raccordi di giunzione
- Perdite dai punti di spillamento
- Perdite per corrosione
- Perdite per cedimento strutturale o invecchiamento dei materiali

evidenziando come la fuoriuscita di liquido possa essere responsabile di cedimenti del letto di posa, che può provocare danni alle seguenti infrastrutture (interoperabilità dovuta al guasto):

- Sforzi anomali su infrastrutture di distribuzione idrica (PVC per fognatura o acqua potabile)
- Modifica delle pendenze necessarie al corretto scorrimento dei liquidi (es. 2% per la distribuzione del teleriscaldamento)

- Corrosione delle tubazioni metalliche e aumento del rischio di fughe (es. condotte in acciaio per la distribuzione del gas)

Dalle precedenti osservazioni risulta chiaro come lo studio delle interoperabilità sia in grado di meglio definire anche le linee guida degli interventi, poiché tale studio, a differenza delle semplici linee guida incentrate sugli interventi di dettaglio, considera e analizza le seguenti variabili:

- Tempo caratteristico del fenomeno e conseguenze sulle infrastrutture e target: in base alla infrastruttura colpita, ed al guasto considerato, cambiano i tempi di reazione necessari e gli effetti sulle infrastrutture/target. La vulnerabilità inoltre è influenzata dal persistere del guasto (es. perdita di liquidi o gas)
- Evoluzione spaziale degli effetti di guasto : si è in grado, utilizzando l'analisi proposta, di simulare gli effetti geografici di un guasto, evidenziando (in base al tempo definito) gli oggetti colpiti e le zone eventualmente da evacuare.
- Forza o gravità delle interrelazioni e degli effetti: permette di valutare le interazioni fra le differenti infrastrutture in base al grado di dipendenza fra due o più infrastrutture e in base alla dipendenza che i target hanno dai servizi erogati (es. la mancanza di distribuzione di calore può essere considerata, in alcuni casi, meno grave dell'erogazione di acqua).

## **8. ANALISI DI INTEROPERABILITÀ E APPLICAZIONI: SIMULAZIONI PER LA PIANIFICAZIONE INTERVENTI**

### **8.1. Pianificazione delle emergenze**

In base alle analisi svolte è possibile prevedere l'utilizzo del metodo illustrato come simulatore di intervento. Come infatti mostrato dal semplice esempio applicativo, la possibilità di illustrare (anche graficamente) le zone colpite, le infrastrutture (dorsali) coinvolte ed i target presenti in superficie, fornisce un intuitivo metodo per un'azione efficace di contrasto.

Dal punto di vista operativo, infatti, più che la tipologia ed il dettaglio dei guasti risultano essenziali la chiara localizzazione del guasto, la presenza di altre infrastrutture e di obiettivi sensibili e vulnerabili.

Nella pianificazione delle emergenze, è fondamentale quindi:

- la chiara ed istantanea identificazione dello scenario: le squadre di emergenza (e le squadre tecniche) sono in grado di intervenire in tempi assai più brevi e con precisione, se sono guidate in base alla localizzazione effettiva dei guasti;
- la rapidità di intervento, che ha effetto sulla riduzione dei danni, poiché interrompe l'evoluzione di eventi dannosi (es. accumulo di liquidi o gas);
- poter conoscere a priori gli effetti correlati ad un determinato guasto, per intervenire "chirurgicamente" con la adeguata conoscenza della situazione.

L'aspetto di previsione delle zone interessate rende gli interventi commisurati all'evento: si può pensare di intervenire rapidamente sulle zone che provocano il blocco di altre infrastrutture o (effetto domino) sono a monte degli effetti dannosi sulla popolazione.

### **8.2. Pianificazione degli interventi**

Oltre alle ricadute relative agli eventi più gravi si pensi all'utilizzo del suddetto approccio in termini di pianificazione degli interventi di manutenzione: nel considerare infatti le opzioni di intervento i decisori prendono in considerazione il "disagio" creato nel corso dell'intervento (blocco di erogazione del servizio, disagi viabilistici per l'apertura cantiere, rischio connesso all'intervento – es. su gas-) commisurandolo con i disagi, spesso a lungo termine, derivanti dal mancato intervento manutentivo.

Ebbene una simulazione in grado di prevedere, lungo ogni tratto di dorsale dell'infrastruttura, le zone, i servizi e le persone (o attività) coinvolte, permette di operare scelte ponderate e giustificate per minimizzare gli effetti dannosi. Tipicamente ci si può trovare di fronte a due opzioni di intervento:

- serie di interventi parziali lungo l'infrastruttura: tende a diminuire l'effetto globale del disagio "spalmandolo" in una lunga serie di micro-interventi; vantaggio ovvio è che l'effetto complessivo può essere blando (es. blocco della circolazione solo in

- poche vie, disagio per la mancata erogazione limitato, per esempio, ad un isolato); d'altra parte gli effetti in termini di impegno temporale aumentano, poiché per coprire l'intera infrastruttura (es. rifacimento rete fognaria) possono essere richiesti lunghi periodi, anche anni, con persistente disagio nel corso del tempo;
- intervento in grande scala: prevede l'intervento su grandi tratti di infrastruttura, limitando il tempo necessario ma incrementando il disagio per le zone interessate; in alcuni casi potrebbe essere in grado di paralizzare interi quartieri con ovvi disagi.

## 9. FRAMEWORK PER LA REDAZIONE DELLE LINEE GUIDA

Il seguente paragrafo ha l'obiettivo di fornire considerazioni di sintesi, utili alla redazione delle linee guida per la gestione del sottosuolo. Ovviamente ciò richiede anche l'analisi della normativa vigente. Per questo motivo il seguente lavoro fornisce lo spunto per integrare, all'interno degli interventi derivati dalla "conoscenza" tradizionale, le informazioni quantitative qui ricavate e, soprattutto, la logica ed i passaggi forniti dall'approccio.

In estrema sintesi lo sviluppo della metodologia esposta nei precedenti capitoli, e l'analisi conseguente, portano a concludere che l'insieme dei sottoservizi analizzati porta con sé due classi di criticità:

- Guasti e malfunzionamenti delle infrastrutture ed effetti conseguenti
- Guasti e malfunzionamenti indotti dalla interoperabilità ed effetti conseguenti

Ciò comporta, ai fini della gestione manutentiva e tecnologica, che ogni singola infrastruttura del sottosuolo sia considerata non solo nella sua singolarità bensì anche in base agli effetti dannosi, quantificabili, che essa può portare agli altri sottoservizi.

Il primo passo utile, nella gestione dei sottoservizi urbani, consiste nel raggrupparli in base alle caratteristiche fisiche, che poi influenzano le caratteristiche dei guasti e la loro evoluzione:

- infrastrutture costituite da cavi (energia elettrica, telecomunicazioni): sono soggette a guasti pressoché istantanei e facilmente rilevabili; hanno in generale alta interoperabilità tuttavia le probabilità di guasto sono relativamente basse;
- infrastrutture di distribuzione di fluido (acqua, fognatura, gas e teleriscaldamento): i guasti cui sono soggette hanno evoluzioni lunghe e sono spesso difficilmente rilevabili; gli effetti di interoperabilità sono bassi, tuttavia a causa di fenomeni di lisciviazione sono in grado di compromettere (sul lungo periodo) le altre infrastrutture.

Si è provveduto ad analizzare le caratteristiche, sia funzionali che geografiche, di ogni singola infrastruttura, quindi ad individuare le interrelazioni presenti fra i sottoservizi elencati. Il caso applicato al centro storico di Cremona ha permesso di individuare così i valori di esposizione al rischio (definiti in base all'orizzonte temporale scelto, T1, T2, T3) conseguenti agli effetti principali di guasti o interoperabilità sulle infrastrutture connesse. Nel corso dell'analisi delle singole infrastrutture e dell'analisi di guasto (FMECA) effettuata sono emerse, ed in molti casi confermate, le principali indicazioni tecniche sugli interventi. I dati emersi sono la sintesi dell'analisi dell'infrastruttura non più in quanto tale, o legata "qualitativamente" al contesto esterno, bensì risultato delle interazioni dimostrate dal metodo utilizzato.

Alcune considerazioni possono essere fatte su tali valori di sintesi: la criticità dei servizi di distribuzione dell'energia elettrica in termini di interoperabilità, già evidente in tempi brevi dopo il guasto (danno a T1) e massima oltre le 24 ore (danno a T3) non è colta dal

semplice indicatore degli effetti di guasto diretto. Gli effetti di danno o interoperabilità da soli non sono in grado di quantificare l'effettiva vulnerabilità urbana. Essa infatti dipende dalla struttura del soprasuolo e dalle presenze di target sensibili in superficie. L'approccio studiato è in grado di fornire tali indicazioni sotto forma di mappe di rischio, integrando anche l'aspetto spaziale nell'analisi.

Nel corso degli interventi sulle reti infrastrutturali è inoltre necessario tenere in debita considerazione l'effetto che gli stessi possono avere sulle restanti infrastrutture. La metodologia basata sul calcolo degli effetti della interoperabilità esterna ha infatti dimostrato gli effetti del danno o malfunzionamento da guasto indotto anche dagli interventi. Come esempio si prenda la tipica apertura del cantiere di intervento in area centro storico, con le seguenti caratteristiche:

- necessità di scavo per raggiungere le componenti da sostituire o per rilevare il fenomeno di guasto (con influenza della profondità e delle caratteristiche del terreno sulla modalità di apertura del cantiere);
- blocco totale o parziale della viabilità (ampiezza strada pari a circa 5m e cantiere minimo pari a 2,5 m).

Dalle indicazioni metodologiche già presenti in letteratura (almeno a livello regionale, vedi "Metodologia Generale per la Redazione dei PUGSS", 2006) è resa evidente la necessità di procedere con opportuni vincoli e criteri; dall'approccio esposto si perviene a definire la cosiddetta "Matrice dei Criteri" che contiene considerazioni sulle effettive criticità riscontrate e sugli effetti di ordine superiore al primo riscontrati. Negli interventi previsti quindi (posa, interrimento etc.) si dovranno tenere in considerazione oltre ai vincoli già previsti e di facile individuazione (presenza di aree popolate o con edifici e attività commerciali) l'insorgere di effetti di danno a causa di eventi diretti o indiretti (o del secondo ordine) come:

- danno da guasto principale (fuga, rottura etc.);
- danno da guasto indotto dalle interoperabilità riscontrate;
- danno da effetti a lungo termine (es. lisciviazione).

Dai risultati ottenuti è perciò possibile indicare le seguenti linee guida di intervento.

- Pianificazione degli interventi di manutenzione sulle infrastrutture basate sulla vetustà delle componenti (le frequenze di guasto assolute sono influenzate principalmente dall'età dell'infrastruttura stessa). Gli eventi di guasto analizzati per la città di Cremona infatti hanno effetti diretti od indiretti comunque attivati dagli eventi primari di guasto o malfunzionamento (fuga gas, rottura cabine in bassa o media tensione elettrica etc.)
- Particolare attenzione da porre nei confronti di a) infrastrutture di riconosciuta influenza sulle rimanenti e sui target (es. distribuzione di energia elettrica, per gli effetti sulle componenti di altre infrastrutture e per gli impatti sui target, in particolar modo nel lungo periodo: danni alla persona ed alle attività commerciali alimentari) b) infrastrutture dalla bassa influenza "funzionale" ma dalla elevata "interoperabilità da guasto", in grado cioè di compromettere con i propri guasti altre infrastrutture: nel caso analizzato si è mostrata la criticità in tal senso della rete di distribuzione dell'acqua

- Gestione delle criticità previste non solo in termini di magnitudo e frequenza di danno sulle infrastrutture ma anche in base alla effettiva presenza di target sensibili a livello del soprasuolo: servizi dalla scarsa potenzialità di danno come distribuzione dell'energia elettrica hanno tuttavia grande impatto sui target nel caso di:
  - a) prolungata mancanza di erogazione nel caso dei servizi alla persona più critici (assistenza ospedaliera e principali servizi domestici per persone anziane o non autosufficienti)
  - b) prolungata mancanza di erogazione per le principali attività commerciali: nel caso urbano della città di Cremona si è vista la criticità nei confronti delle manifestazioni turistiche e delle attività legate al settore alimentare.

Il gestore od i gestori delle reti, preferibilmente in un'ottica di gestione integrata dei principali servizi (come accade per il caso studio di Cremona), dovranno quindi porre in atto una serie di azioni manutentive e di prevenzione dei guasti secondo le seguenti indicazioni:

- riduzione dei guasti in base al livello di criticità complessivo delle infrastrutture, non solo in base alle analisi tradizionali (statistiche di guasto delle singole infrastrutture e storico dei danni);
- intervento sulle reti tenendo conto degli effetti temporali anche di lungo periodo (es. intervento sulle perdite di acqua, non critico in quanto tale ma in grado di aumentare il livello di rischio delle infrastrutture influenzate da smottamento del letto di posa)
- isolamento delle infrastrutture critiche, tramite utilizzo di protezioni (cavi o cunicoli rinforzati, ove necessario, sostituzione delle tratte più vetuste) o riorganizzazione delle medesime in condotti di ultima concezione (canalette e cunicoli tecnologici, gallerie polifunzionali);
- pianificazione e ridefinizione delle tipologie di intervento in considerazione di:
  - a) priorità di intervento sulle infrastrutture in termini di danno diretto ma anche indotto sul lungo periodo (vedi analisi di interoperabilità)
  - b) criticità dell'intervento stesso in termini di evento di potenziale danno sulle altre infrastrutture.