SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Strategie innovative per la localizzazione dei siti di Disaster Recovery: garantire la continuità operativa con un approccio sostenibile in caso di eventi catastrofici

Dipartimento di Scienze Statistiche
Master in Data Intelligence e Strategie Decisionali

Carmen Mascara
Davide Tarantino

Relatore
Prof. Antonino Sgalambro

A.A. 2024-2025

INDICE

Annessi

Annessi

LocationDR.xslx

CAPITOLO 1

1. Strategie di Disaster Recovery e Business Continuity: Pianificazione e Localizzazione

Nel contesto odierno, caratterizzato da una crescente complessità operativa e da una continua esposizione a rischi di natura tecnologica, ambientale ed economica, il Disaster Recovery (DR) e la Business Continuity (BC) assumono un ruolo cruciale per la resilienza delle organizzazioni. La capacità di garantire la continuità operativa in caso di eventi critici non è solo una necessità per la protezione dei dati e delle infrastrutture IT, ma rappresenta anche un elemento strategico per la competitività aziendale.

Questa tesi si propone di analizzare le strategie di Disaster Recovery e Business Continuity con un focus particolare sulla localizzazione ottimale dei siti di DR. Dopo aver introdotto i concetti fondamentali e gli obiettivi del DR e della continuità operativa, verranno esplorati i principali fattori critici che influenzano la scelta dei siti di backup, evidenziandone vantaggi e limitazioni. In particolare, l'analisi approfondirà il bilanciamento tra obiettivi contrastanti, come il rischio ambientale, i costi, l'accessibilità, la sostenibilità e la connettività, che rappresentano le principali variabili decisionali nel processo di localizzazione.

Il ruolo della localizzazione nella resilienza organizzativa sarà esaminato, considerando le minacce, i piani di DR e l'integrazione degli stakeholder nel processo decisionale. Verranno inoltre presentati modelli di localizzazione, con particolare attenzione agli algoritmi evolutivi utilizzati per ottimizzare simultaneamente i vari obiettivi, raggiungendo un equilibrio tra le priorità strategiche.

Un elemento centrale di questa ricerca è l'implementazione di un sistema di supporto alle decisioni, che si basa su componenti MODEL e DATA, consentendo un'analisi strutturata e quantitativa della scelta del sito ottimale. La formulazione matematica degli obiettivi di ottimizzazione del rischio e dei costi sarà utilizzata per definire una funzione obiettivo e i vincoli associati, valutando le migliori strategie decisionali. L’approccio proposto non è statico bensì prevede un monitoraggio continuo e un aggiornamento costante dei parametri, per garantire che la soluzione resti allineata alle esigenze aziendali e alle evoluzioni normative e tecniche.

Infine, l’analisi dei risultati consentirà di parametrizzare la funzione obiettivo e verificare la connettività tra il sito di DR ideale e i data center esistenti, applicando la soluzione ottimale a scenari reali. Le conclusioni forniranno una sintesi delle evidenze emerse e delle implicazioni per il futuro sviluppo delle strategie di Disaster Recovery e Business Continuity, sottolineando l'importanza di un approccio dinamico e iterativo che assicuri la resilienza delle infrastrutture aziendali in un ambiente in continua evoluzione.

1.1. Il Disaster Recovery e la Continuità Operativa: Fondamenti e Obiettivi

Il Disaster Recovery (DR) e la Continuità Operativa (Business Continuity) sono concetti fondamentali per garantire la resilienza di un'organizzazione, particolarmente in scenari ad alta criticità come quelli affrontati dalle Forze Armate. Il Disaster Recovery si concentra sulle tecniche, tecnologie e strategie per il ripristino dei sistemi IT in seguito a disastri che compromettono la normale operatività dell'organizzazione. Gli eventi che richiedono l'attivazione di un piano di DR possono includere interruzioni nei servizi, guasti infrastrutturali, attacchi informatici o calamità naturali.

Nella prospettiva della continuità operativa, l'obiettivo primario è quello di garantire che le funzioni aziendali critiche possano essere ripristinate nel più breve tempo possibile, minimizzando così l'impatto sui processi aziendali. A tal fine, la pianificazione del DR riveste un ruolo fondamentale. Essa include la definizione delle priorità, l'identificazione dei dati e sistemi critici e la formulazione di piani per il ripristino rapido delle operazioni. Test e aggiornamenti periodici del piano sono imprescindibili per mantenerlo efficace nel tempo.

Un aspetto cruciale che emerge da questo progetto è l'importanza della localizzazione dei siti di Disaster Recovery, che si inserisce come elemento strategico per l'efficacia del piano di recupero. La scelta di luoghi adeguati per ospitare i siti di DR può fare la differenza, in particolare in contesti ad alta criticità come quelli geopolitici e legali legati alla sicurezza nazionale, come nel caso delle Forze Armate. L'adeguamento alle normative internazionali, la protezione dei dati sensibili e la sicurezza fisica delle infrastrutture sono solo alcuni degli aspetti che vengono trattati in questa tesi.

1.2. Localizzazione Ottimale dei Siti di Disaster Recovery: Fattori Critici e Vantaggi

La scelta della localizzazione dei siti di Disaster Recovery è un processo complesso che richiede una valutazione attenta di molteplici fattori. Tra questi, la geologia e l'idrologia del territorio rappresentano aspetti cruciali, in quanto possono influire significativamente sul rischio di disastri naturali, come terremoti o inondazioni, che potrebbero compromettere le infrastrutture.

La rete di telecomunicazioni ridondante è un altro elemento fondamentale, poiché garantisce la continuità della comunicazione anche in caso di interruzioni delle reti primarie. La distanza geografica tra i siti di produzione e quelli di DR è un altro fattore di importanza strategica, poiché riduce il rischio che eventi locali catastrofici colpiscano simultaneamente entrambe le strutture.

Un'analisi approfondita della localizzazione ottimale dei siti di DR comporta una valutazione dei benefici derivanti da un'adeguata protezione dei dati, dalla riduzione dei tempi di recupero (Recovery Time Objective - RTO) e dal rispetto dei vincoli operativi e legali. La localizzazione dei siti di DR deve rispettare specifiche normative e garantire un accesso alle risorse essenziali (come energia, acqua, telecomunicazioni) in scenari

di emergenza, assicurando così la resilienza e la capacità di ripristinare rapidamente le operazioni.

A tal fine, vengono esplorati i modelli di localizzazione, con un'analisi dei vantaggi e degli svantaggi di ciascun modello, e la discussione delle implicazioni pratiche, inclusi l'impatto ambientale e la sostenibilità delle soluzioni adottate.

CAPITOLO 2

2. La Continuità Operativa, il Disaster Recovery e la Localizzazione

La Continuità Operativa, il Disaster Recovery e la Localizzazione sono concetti chiave nella gestione dei rischi aziendali. La continuità operativa garantisce che le funzioni critiche dell'azienda possano continuare anche in caso di emergenze, mentre il Disaster Recovery si concentra sul ripristino delle infrastrutture IT e dei dati dopo un disastro. Le strategie includono backup, sistemi ridondanti e piani di emergenza. La localizzazione, invece, riguarda la gestione geografica delle risorse, assicurando che l'infrastruttura IT sia distribuita in aree diverse per ridurre i rischi legati a eventi locali e rispettare eventuali normative sulla protezione dei dati. Insieme, questi elementi consentono alle aziende di essere più resilienti e pronte a gestire crisi e imprevisti.

2.1. La Continuità Operativa e il Disaster Recovery: Garantire la Resilienza Organizzativa

La Continuità Operativa (Business Continuity, BC) e il Disaster Recovery (DR) sono concetti strettamente interconnessi che mirano a garantire che un'organizzazione possa operare senza interruzioni, anche in caso di eventi imprevisti. Sebbene abbiano obiettivi simili, BC e DR si differenziano per l'ambito e la portata delle azioni messe in atto: la Business Continuity si concentra sulla capacità di un'organizzazione di mantenere in funzione le sue attività critiche, mentre il Disaster Recovery riguarda il ripristino delle infrastrutture tecnologiche e dei dati dopo un evento disastroso.

La Continuità Operativa è il processo di pianificazione e gestione che consente a un'organizzazione di garantire la continuità delle sue operazioni essenziali, anche in presenza di eventi catastrofici. Questo concetto è fondamentale per evitare danni irreparabili e minimizzare l'impatto di interruzioni o disastri sulle attività quotidiane dell'impresa. La Business Continuity comprende una serie di misure preventive, processi operativi e risorse aziendali che devono essere preservati e protetti, indipendentemente da eventi imprevisti.

La relazione tra BC e DR è cruciale, poiché il Disaster Recovery rappresenta una delle componenti fondamentali del piano di Business Continuity. Mentre la BC si preoccupa di garantire che i processi aziendali siano sempre operativi, il DR si concentra sul recupero delle tecnologie, dati e infrastrutture IT necessari per il funzionamento di tali processi. Ad esempio, la continuità operativa di un'azienda che dipende fortemente da sistemi informatici necessita di piani di DR che assicurino il recupero dei dati e il ripristino dei sistemi IT in tempi rapidi.

2.2. Minacce alla Continuità Operativa

La continuità operativa di un'organizzazione può essere compromessa da vari tipi di eventi catastrofici, ognuno dei quali ha impatti diretti e potenzialmente devastanti su persone, infrastrutture, dati e processi aziendali. Gli eventi che minacciano la continuità operativa possono essere suddivisi principalmente in cinque categorie: ambientali, tecnologici, informatici, umani e legali. Comprendere queste categorie è fondamentale per predisporre piani di Disaster Recovery (DR) e Business Continuity (BC) efficaci.

- **Eventi Ambientali.** Questi eventi comprendono disastri naturali come terremoti, inondazioni, uragani, incendi boschivi, tempeste e frane. Gli eventi ambientali possono danneggiare gravemente le infrastrutture fisiche, interrompere le forniture di energia e danneggiare i dati sensibili. Le aree a rischio elevato richiedono soluzioni di localizzazione dei siti di DR che minimizzino l'esposizione a tali minacce.

- **Eventi Tecnologici.** I guasti tecnologici, come il malfunzionamento di sistemi hardware, interruzioni delle reti elettriche o delle telecomunicazioni, rappresentano una minaccia significativa per la continuità operativa. La perdita di connettività, il malfunzionamento di apparati critici, guasti a infrastrutture o a tecnologiche aziendali possono compromettere l'accesso ai dati o interrompere i processi aziendali, causando tempi di inattività prolungati.

- **Eventi Informatici.** Le minacce informatiche, come attacchi DDoS (Denial of Service), ransomware, furti di dati e violazioni della sicurezza, sono in costante crescita. Un attacco informatico può paralizzare un'intera infrastruttura, compromettendo l'integrità dei dati e impedendo l'accesso ai sistemi aziendali. Le organizzazioni devono implementare misure di protezione avanzate per prevenire e rispondere a queste minacce, come la crittografia dei dati, la gestione delle vulnerabilità e, in caso di attacco, piani di recupero.

- **Eventi Umani.** Gli eventi causati dall'uomo, come errori operativi, sabotaggi, atti di terrorismo o conflitti interni, rappresentano un'altra minaccia significativa. Anche una mala gestione dei processi aziendali o la negligenza da parte dei dipendenti può comportare rischi per la continuità operativa. Le organizzazioni devono essere preparate a rispondere a situazioni in cui l'intervento umano ha causato interruzioni, con piani che comprendano formazione, monitoraggio delle attività e soluzioni per la gestione del rischio legato al fattore umano.

- **Eventi Economici o Legali.** Crisi economiche, modifiche normative o altre problematiche legali (come sanzioni o procedimenti giuridici) potrebbero influenzare la capacità di un'organizzazione di operare normalmente. Ad esempio, la sospensione di contratti chiave per l'erogazione di alcuni servizi o il congelamento di fondi da parte dei soci possono avere un impatto rilevante sulle operazioni aziendali.

L’organizzazione che progetta la propria infrastruttura tenendo conto di questi eventi effettua una valutazione completa dei rischi, definisce le strategie di prevenzione e pianifica soluzioni di recupero volte a minimizzare l'impatto dei diversi tipi di disastro. Un piano di Disaster Recovery ben strutturato deve prevedere azioni specifiche per ciascuna di queste categorie, garantendo che l’organizzazione possa riprendersi rapidamente da un evento catastrofico.

2.3. Piano di Disaster Recovery – struttura e componenti principali

Un piano di Disaster Recovery (DR) è un documento strategico che descrive le azioni da intraprendere per ripristinare le operazioni aziendali critiche e le infrastrutture tecnologiche in seguito a un evento disastroso o imprevisto, come un attacco informatico, un incendio, un guasto hardware, o un disastro naturale. L'obiettivo di un piano di DR è minimizzare il tempo di inattività e la perdita di dati, permettendo all'organizzazione di tornare operativa nel più breve tempo possibile.

Il piano di Disaster Recovery include:

- **Identificazione delle risorse critiche**: Determinazione delle applicazioni, dei sistemi e dei dati essenziali per l'operatività dell'organizzazione.
- **Analisi dei rischi e delle minacce**: Studio delle possibili minacce che potrebbero interrompere i processi aziendali e dei rischi associati.
- **Strategia di recupero:** Definizione delle procedure e delle risorse necessarie per ripristinare i sistemi e i dati in caso di disastro. Ciò include, ad esempio, l'uso di backup, la replica dei dati in tempo reale, o l'impiego di soluzioni cloud.
- **Obiettivi di recupero:** Definizione di parametri che contribuiscono a definire gli obiettivi di recupero di un piano di Disaster Recovery, aiutando a stabilire le priorità e le tempistiche per garantire il ritorno alle normali operazioni aziendali in caso di disastro. L'uso di tutti questi parametri permette alle organizzazioni di ottimizzare le risorse e pianificare in modo più accurato il recupero, riducendo l'impatto di eventuali interruzioni. Di seguito vengono riportati i parametri principali di un piano di DR:
    - **Recovery Time Objective (RTO)**: L'RTO definisce il tempo massimo consentito per il ripristino di un sistema, un'applicazione o un servizio prima che l'interruzione diventi inaccettabile per l’organizzazione. Ad esempio, se un sistema di gestione delle transazioni è essenziale per l'operatività, l'RTO dovrà essere molto ridotto, nell'ordine di pochi minuti o ore.
    - **Recovery Point Objective (RPO)**: L'RPO determina la perdita di dati tollerabile o il tempo massimo in cui i dati possono essere ripristinati senza causare gravi danni all’organizzazione. Un basso RPO implica che i dati vengano salvati frequentemente (es. ogni 15 minuti) per ridurre al minimo le perdite di dati in caso di disastro.

Oltre ai parametri RTO e RPO, esistono altri parametri che definiscono gli obiettivi di recupero in un piano di DR stabilendo le priorità e le tempistiche del ritorno alla normale operatività dell'organizzazione in caso di disastro. L'uso di tutti questi parametri permette di ottimizzare le risorse e pianificare in modo più accurato le modalità di recupero, riducendo l'impatto di eventuali interruzioni.

- **Maximum Tolerable Downtime (MTD)**: indica il massimo periodo di tempo che un'organizzazione può tollerare senza che una funzione o un sistema critico sia operativo prima che si verifichino danni irreparabili. L' MTD è generalmente più lungo dell' RTO e rappresenta il limite massimo di tempo durante il quale l'interruzione è accettabile.
- **Recovery Capacity Objective (RCO):** si tratta di un parametro che stabilisce la capacità di recupero necessaria per far ripartire un'applicazione o un sistema in termini di performance. Ad esempio, il numero di utenti che il sistema deve supportare una volta ripristinato. Questo fattore è importante in quanto stabilisce il carico di lavoro previsto post-disastro.
- **Service Level Agreement (SLA):** È un accordo formale che definisce il livello di servizio che il fornitore o l'organizzazione si impegna a mantenere durante il recupero. Indica livelli specifici di RTO e RPO, e comprende anche altri aspetti come l'affidabilità e la disponibilità del servizio. Gli SLA sono spesso utilizzati per formalizzare le aspettative riguardo a tempi di recupero e disponibilità del servizio tra clienti e fornitori.
- **Recovery Time Actual (RTA):** Indica il tempo effettivo che è stato impiegato per ripristinare un sistema o un'applicazione durante un evento di disastro. Viene utilizzato per monitorare e confrontare i tempi reali con gli obiettivi di recupero stabiliti (come RTO). Serve come strumento di misurazione delle performance e per identificare eventuali aree di miglioramento nei piani di DR.
- **Data Recovery Accuracy (DRA):** Questo parametro misura la precisione del recupero dei dati. Si riferisce alla capacità di ripristinare i dati fino a un determinato livello di integrità (ad esempio, senza errori di dati o corruzione). Questo parametro è particolarmente importante per le organizzazioni che trattano dati sensibili o ad alta criticità.
- **Criticality Index (CI):** indica il livello di criticità di ogni sistema o applicazione nel contesto di un piano di recupero. I sistemi con un indice di criticità più alto saranno trattati come prioritari per il recupero. Un'applicazione o un sistema ad alta criticità avrà RTO e RPO più sfidanti rispetto a uno meno critico.

- **Piani di comunicazione**: Linee guida su come informare i dipendenti, i clienti e altre parti interessate durante e dopo un evento di disastro.
- **Test e aggiornamenti**: Verifica regolare del piano attraverso simulazioni di disastro e aggiornamenti periodici per garantire che rimanga efficace con

l'evolversi di tecnologie e processi aziendali. Un piano di Disaster Recovery non deve essere statico. È fondamentale eseguire regolarmente test per verificare l'efficacia del piano di DR e aggiornare costantemente le procedure per rispondere a nuove minacce, cambiamenti tecnologici o evoluzioni nei processi aziendali.

In sintesi, un piano di Disaster Recovery è una componente essenziale per garantire la continuità operativa in caso di eventi catastrofici, e la sua efficacia dipende dalla corretta valutazione dei rischi, dall'adozione di obiettivi chiari per il ripristino e dalla definizione di strategie tecnologiche e logistiche appropriate.

2.4. Criteri per la Localizzazione dei Siti di Disaster Recovery

La localizzazione dei siti di Disaster Recovery (DR) è uno degli aspetti più critici nella pianificazione della continuità operativa di un'organizzazione. La scelta della sede per il sito di DR deve tener conto di una serie di fattori che riguardano la sicurezza fisica e tecnologica del sito, le normative e i requisiti legali che impattano la gestione dei dati. In un contesto in cui il rischio di eventi catastrofici è sempre presente, una localizzazione ottimale dei siti di DR è essenziale per garantire la resilienza operativa e la protezione dei dati aziendali.

I principali criteri decisionali per la scelta di un sito di Disaster Recovery (DR) comprendono aspetti Geografici, Infrastrutturali, di Sostenibilità e Normativi. Di seguito vengono approfonditi ciascuno di questi fattori.

- **Aspetti geografici:** la geografia del sito di Disaster Recovery è un fattore determinante nella scelta della sua localizzazione. Alcuni dei principali elementi geografici da considerare includono:
    - **Distanza dai Siti Organizzativi Principali:** il sito di DR deve essere sufficientemente lontano dai siti organizzativi principali per ridurre il rischio che eventi catastrofici simultanei colpiscano entrambi i luoghi. Tuttavia, deve essere anche abbastanza vicino per consentire un recupero rapido delle operazioni e un collegamento efficiente in caso di emergenza. La distanza ottimale dipende dal tipo di attività e dai tempi di recupero desiderati (RTO).
    - **Rischio Sismico, Inondazioni, Uragani e Altri Rischi Naturali:** la localizzazione di un sito di DR deve evitare aree geografiche ad alta esposizione a terremoti, inondazioni, uragani o altri eventi naturali che potrebbero comprometterne l'integrità fisica. La scelta di una zona a basso rischio sismico o lontana da corsi d'acqua e dalle coste aiuta a ridurre il rischio di danni al sito di recupero, garantendo che le operazioni aziendali possano essere ripristinate rapidamente.
- **Infrastrutture Locali:** un altro aspetto fondamentale riguarda le infrastrutture locali, che includono la disponibilità di energia, la connettività di rete e l'accessibilità fisica:

- **Disponibilità di Energia**: È cruciale che il sito di DR disponga di una fornitura energetica stabile e ridondante. Le interruzioni di energia possono compromettere seriamente le operazioni di recupero, quindi la presenza di fonti energetiche alternative quali generatori o alimentazione da rete elettrica separata è fondamentale per garantire la resilienza del sito.
- **Connettività di Rete**: ogni sito di DR deve essere dotato di connettività Internet e di rete ad alta velocità per consentire un rapido trasferimento dei dati e un'operatività continua. La banda larga, la ridondanza delle connessioni e la protezione contro le interruzioni di rete sono essenziali per mantenere l'accesso ai sistemi aziendali e per ridurre i tempi di recupero.
- **Accessibilità Fisica**: l'accessibilità fisica al sito di DR è un fattore da non sottovalutare. La sua ubicazione deve consentire un facile accesso per il personale in caso di emergenza ma anche essere abbastanza remota da ridurre l'esposizione a minacce come atti vandalici o attacchi fisici. Le strutture devono essere, inoltre, sicure, protette da sistemi di sorveglianza e controlli di accesso.

- **Sostenibilità:** la sostenibilità rappresenta un fattore sempre più importante, poiché le organizzazioni sono chiamate a bilanciare l'operatività con la responsabilità ambientale. La selezione di un sito di DR che rispetti criteri di sostenibilità non solo contribuisce a ridurre l'impatto ambientale, ma può anche generare vantaggi a lungo termine in termini di efficienza operativa e responsabilità sociale d'impresa. Tra gli aspetti di sostenibilità da considerare vi sono:

  - **Efficienza Energetica.** È fondamentale che il sito di DR adotti soluzioni che ottimizzino il consumo energetico. Questo include l'uso di tecnologie ad alta efficienza energetica, come sistemi di raffreddamento avanzati e illuminazione a basso consumo, e la preferenza per fonti di energia rinnovabile, come il solare o l'eolico. La capacità di ridurre l'impronta di carbonio è essenziale per rispondere alle crescenti aspettative ambientali e per contribuire al raggiungimento degli obiettivi globali di sostenibilità.

  - **Gestione dei rifiuti.** Un sito di DR sostenibile deve essere in grado di gestire correttamente i rifiuti elettronici. Ciò include politiche per il riciclo delle apparecchiature obsolete e l'adozione di pratiche che riducono la produzione di rifiuti, come il riutilizzo di server e dispositivi. In questo modo, si minimizza l'impatto ecologico derivante dal ciclo di vita dei dispositivi tecnologici.
  - **Design e Costruzione Eco-Sostenibile.** La costruzione del sito di DR dovrebbe rispettare principi di sostenibilità, utilizzando materiali ecocompatibili, riducendo al minimo l'uso di risorse naturali e favorendo l'efficienza idrica. Inoltre, è importante che la progettazione del sito ottimizzi l'efficienza energetica degli edifici, riducendo la necessità di

riscaldamento e raffreddamento artificiali e migliorando l'isolamento termico.

- **Conformità con gli Standard Ambientali.** La certificazione del sito secondo standard internazionali, come LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) o ISO 14001, assicura che l'infrastruttura del sito di DR sia progettata e gestita nel rispetto delle migliori pratiche ambientali. Questi standard garantiscono un utilizzo efficiente delle risorse e il rispetto delle normative per la riduzione dell'impatto ambientale.

- **Regolamenti Legali:** le normative legali sono un aspetto fondamentale nella scelta della localizzazione di un sito di Disaster Recovery, poiché la gestione dei dati sensibili e il rispetto delle normative sulla privacy sono essenziali per evitare rischi legali e reputazionali. Tra le principali considerazioni legali ci sono:

  - **Privacy e Protezione dei Dati**: Le leggi sulla privacy e la protezione dei dati, come il **GDPR** (General Data Protection Regulation) in Europa, stabiliscono norme precise sulla conservazione e il trattamento dei dati personali. La localizzazione del sito di DR deve garantire che i dati siano protetti in conformità con queste leggi, evitando la trasferibilità illegale dei dati a giurisdizioni con normative meno stringenti.

  - **Sicurezza Nazionale e Regolamenti Locali**: alcuni Paesi potrebbero avere regolamenti riguardanti la sicurezza nazionale che limitano l'ubicazione dei siti di DR, o potrebbero richiedere che i dati sensibili siano conservati all'interno dei confini nazionali. Ad esempio, in alcune giurisdizioni potrebbe essere necessario garantire che i dati non vengano archiviati su server situati all'estero o in aree vulnerabili a leggi di sorveglianza straniere.

2.5. Analisi e coinvolgimento degli Stakeholder

La selezione di un sito di Disaster Recovery coinvolge una vasta gamma di stakeholder, ognuno con esigenze e interessi specifici. E' importante che gli stakeholder siano coinvolti in ogni fase del progetto, comprenderne requisiti ed esigenze permette di sviluppare una strategia di DR più mirata ed efficace. Tra i principali stakeholder possiamo identificare:

- **Management e Direzione Aziendale:** responsabili della visione strategica e supervisione del piano di DR, con interesse principale a garantire che i siti di DR siano accessibili, sicuri e conformi alle normative.

- **Dipartimenti IT**: fondamentali per la scelta delle soluzioni tecnologiche di recupero, assicurano che i siti di DR rispettino requisiti tecnici come connettività, latenza e ridondanza delle risorse.

- **Clienti e Fornitori:** stakeholder esterni la cui operatività è inficiata dai tempi di inattività. La localizzazione del sito di DR deve proteggere la privacy dei dati (es. GDPR) e rispettare gli SLA per evitare disservizi.

- **Dipendenti e Personale Operativo**: essenziali per l'accesso fisico al sito di DR in emergenza, garantendo accessibilità e sicurezza per una risposta rapida.

- **Autorità Regolatorie:** le normative locali e internazionali influenzano la localizzazione del sito di DR, imponendo requisiti per la gestione e protezione dei dati sensibili.

Un processo decisionale di localizzazione del sito di DR che considera questi e altri stakeholders, consente alle organizzazioni di prendere decisioni più informate, assicurando che siano allineate con gli obiettivi aziendali e con le normative in vigore.

2.6. Modelli di Localizzazione per il Disaster Recovery: Vantaggi e Svantaggi

Esistono diversi modelli di localizzazione per i siti di Disaster Recovery, ognuno con i propri vantaggi e svantaggi a seconda delle esigenze aziendali e delle risorse disponibili. I principali modelli sono di seguito elencati:

- **Siti Off-Site (Esterni all'azienda).** Modello che prevede la creazione di un sito di Disaster Recovery separato e fisicamente distante dalla sede principale dell'organizzazione. Questo sito può essere gestito internamente o esternalizzato a un fornitore terzo. I vantaggi di questa soluzione includono la riduzione del rischio di disastri simultanei, che permette di minimizzare l'impatto di eventi catastrofici su entrambe le strutture. Inoltre, aumenta l'indipendenza dalle strutture aziendali principali, garantendo una maggiore resilienza e flessibilità operativa. Un altro beneficio significativo è la possibilità di implementare protezione avanzata in aree considerate a basso rischio, migliorando così la sicurezza complessiva. D'altra parte, ci sono alcuni svantaggi da considerare. I costi operativi e logistici tendono ad aumentare, soprattutto per la necessità di gestire più strutture e per l'adozione di tecnologie avanzate. Inoltre, può emergere una certa complessità nel mantenere i sistemi sincronizzati tra i due siti, richiedendo un'attenzione particolare alla gestione e all'aggiornamento delle infrastrutture.

- **Cloud.** L'utilizzo di soluzioni cloud per il Disaster Recovery prevede che i dati e le applicazioni vengano memorizzati e protetti su server remoti in ambienti cloud, spesso gestiti da provider di servizi come AWS, Microsoft Azure o Google Cloud. I vantaggi di questa soluzione sono numerosi. Prima di tutto, offre una grande flessibilità e scalabilità, poiché consente di adattare rapidamente le risorse alle necessità aziendali, senza dover fare investimenti significativi in hardware. Inoltre, permette di ridurre i costi di gestione legati all'infrastruttura fisica, poiché non è necessario mantenere e gestire server o altre risorse hardware interne. Un altro vantaggio importante è il recupero rapido in caso di problemi, grazie alla presenza di sistemi di backup e ridondanza distribuiti

geograficamente, che assicurano una continuità operativa anche in situazioni critiche. Tuttavia, ci sono anche degli svantaggi da tenere in considerazione. La dipendenza dalla connessione internet è uno dei principali, poiché qualsiasi interruzione del servizio può compromettere l'accesso alle risorse. Inoltre, esistono possibili elementi critici riguardanti la privacy dei dati e la compliance legale, soprattutto in giurisdizioni con normative particolarmente severe sulla protezione dei dati personali, il che potrebbe richiedere uno studio e degli accorgimenti aggiuntivi per garantire la conformità alle leggi locali.

- **Data Centers Distribuiti.** Questo modello prevede l'utilizzo di più data center distribuiti geograficamente, ognuno con una copia dei dati e delle applicazioni critiche dell'organizzazione. Questo approccio consente di avere un sistema di recupero molto robusto e ridondante. I vantaggi di questa soluzione sono notevoli. In primo luogo, la ridondanza geografica rappresenta un elemento cruciale: se uno dei data center subisce un danno o un'interruzione, gli altri possono continuare a garantire il funzionamento del sistema senza compromettere le operazioni aziendali. Questo contribuisce a una maggiore affidabilità e resilienza dell'intera infrastruttura, riducendo il rischio di downtime e aumentando la continuità operativa. D'altro canto, ci sono anche alcuni svantaggi. Un aspetto importante è l'aumento dei costi operativi e gestionali, che può diventare particolarmente significativo se i data center vengono gestiti internamente anziché affidarsi a terze parti. Inoltre, la gestione di un'infrastruttura distribuita può risultare complessa, poiché richiede un monitoraggio costante, un buon coordinamento e una gestione ottimizzata per garantire che tutti i data center funzionino correttamente e in modo sincronizzato.

- **Modello Ibrido (Cloud + On-Premises).** In un modello ibrido, l'organizzazione combina soluzioni di Disaster Recovery sia cloud-based che on-premises, utilizzando sia data center fisici che ambienti virtualizzati per il recupero. I vantaggi di questa soluzione sono evidenti in termini di flessibilità. La gestione dei dati diventa più versatile, permettendo di scegliere quali risorse tenere sotto controllo diretto e quali delegare al cloud. Questo approccio consente una gestione più personalizzata e la possibilità di ottimizzare l'uso delle risorse in base alle necessità aziendali. Tuttavia, ci sono anche degli svantaggi significativi. La maggiore complessità di gestione e integrazione rappresenta una sfida, poiché richiede di coordinare sistemi diversi, sia on-premise che nel cloud, garantendo che funzionino in modo armonioso. Inoltre, questa combinazione di infrastrutture comporta anche costi maggiori, in quanto bisogna gestire e mantenere sia le risorse locali che quelle nel cloud, con un impatto sulle risorse economiche e operative complessive.

CAPITOLO 3

3. Sistema di supporto alle decisioni: MODEL e DATA Component

La localizzazione di un sito per il Disaster Recovery (DR) è una delle decisioni strategiche più importanti per le organizzazioni che desiderano garantire la continuità operativa e la protezione delle informazioni in caso di disastri naturali o provocati dall'uomo. Per supportare tale processo decisionale, è fondamentale l'adozione di un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) che integri diversi strumenti e metodologie, tra cui modelli decisionali e l'analisi dei dati. In questo contesto, la componente modellistica e la componente dati svolgono un ruolo cruciale per garantire che la decisione finale sia ottimale in termini di rischio, costi e accessibilità, rispettando i vincoli imposti dalle circostanze e dalle normative. Di seguito vengono approfondite le due principali componenti di un DSS per la localizzazione di un sito di Disaster Recovery: la componente modellistica e la componente dati, esplorandone i principali obiettivi, vincoli e il ruolo che entrambe ricoprono nel processo decisionale orientato alla localizzazione dei siti di DR.

3.1. MODEL Component

La MODEL component del DSS ha l'obiettivo di fornire un quadro di riferimento strutturato e quantitativo per valutare le alternative di localizzazione di un sito di DR. In particolare, essa integra modelli decisionali multi-criterio che permettono di analizzare e confrontare le diverse opzioni sulla base di una serie di obiettivi e vincoli.

Il processo decisionale deve perseguire obiettivi chiari che rispondano alle necessità di sicurezza, efficienza operativa e sostenibilità economica, garantendo la continuità delle operazioni aziendali anche in caso di emergenze. In particolare, il modello decisionale deve rispondere a cinque obiettivi: la minimizzazione del rischio, l'ottimizzazione dei costi e la massimizzazione dell'accessibilità e della connettività oltre che la garanzia della sostenibilità ambientale. Ogni obiettivo implica un insieme di considerazioni che devono essere pesate e integrate per ottenere una scelta ottimale.

- **Minimizzazione del rischio.** La protezione del sito di Disaster Recovery è un obiettivo fondamentale, poiché un luogo vulnerabile a disastri naturali o antropici compromette la capacità dell'organizzazione di riprendersi rapidamente da un'emergenza. In primo luogo, è essenziale considerare i rischi ambientali e geologici, come la probabilità di terremoti, inondazioni o altre calamità naturali che potrebbero danneggiare gravemente le infrastrutture. A tal fine, il modello deve includere un'analisi dettagliata della storicità dei disastri nella regione, per identificare aree a rischio elevato. Inoltre, è necessario valutare la vulnerabilità delle infrastrutture locali, come reti di energia elettrica, acqua e trasporti, poiché una rete di supporto debole potrebbe ostacolare le operazioni del sito in caso di emergenza. Allo stesso modo, non si può trascurare la possibilità di disastri antropici, come incidenti industriali o attacchi terroristici, che potrebbero minacciare la sicurezza del sito. L'analisi di questi

rischi è essenziale per selezionare una localizzazione che minimizzi la probabilità di interruzioni operative.

- **Ottimizzazione dei costi.** Un altro obiettivo cruciale è l'ottimizzazione dei costi associati alla gestione del sito di Disaster Recovery. La scelta della localizzazione deve essere economicamente sostenibile, non solo in termini di investimento iniziale, ma anche considerando i costi a lungo termine. In questa fase, il modello deve integrare una valutazione accurata delle spese relative all'acquisizione o all'affitto del sito, alle spese infrastrutturali e alle spese operative quotidiane. È fondamentale che il modello non si limiti a considerare solo i costi immediati, ma prenda in considerazione anche gli impatti economici futuri. Ad esempio, un sito inizialmente più economico potrebbe presentare dei costi aggiuntivi a lungo termine, come il trasporto di attrezzature o la necessità di potenziamenti infrastrutturali. Inoltre, la difficoltà di accesso o la lontananza dalle principali vie di comunicazione potrebbero comportare costi operativi più elevati, con un impatto negativo sul bilancio complessivo. L'obiettivo è pertanto trovare un equilibrio tra costi iniziali e costi futuri, selezionando una localizzazione che offra il miglior rapporto qualità-prezzo nel lungo periodo.

- **Massimizzazione dell'accessibilità e della connettività.** Il sito ideale per il Disaster Recovery deve garantire un facile accesso da parte dei tecnici e delle risorse umane in caso di emergenza. Questo obiettivo implica che il sito sia posizionato in una zona ben collegata alle principali infrastrutture di trasporto, come strade, ferrovie e aeroporti, per facilitare l'intervento rapido in caso di necessità.

- **Massimizzazione della connettività.** La connettività digitale e energetica è altrettanto cruciale. Il sito deve essere in grado di supportare una connessione internet ad alta velocità, nonché un accesso stabile e sicuro a risorse energetiche, per mantenere attive le operazioni anche durante periodi di emergenza. La scelta di un sito con una buona connettività alle reti di telecomunicazione e di energia elettrica è essenziale per garantire che il sito di DR possa operare in modo efficiente, senza interruzioni, anche in situazioni di crisi. La connettività, quindi, non solo assicura la continuità operativa, ma anche la capacità di coordinare le attività e di gestire il recupero delle informazioni in modo tempestivo.

- **Garanzia della sostenibilità.** Un obiettivo crescente e di fondamentale importanza nella selezione di un sito per il Disaster Recovery è la sostenibilità, intesa sia in termini economici che ambientali. Il sito scelto deve non solo essere sostenibile dal punto di vista dei costi a lungo termine, ma anche rispettare principi ecologici, minimizzando l'impatto ambientale e promuovendo l'efficienza energetica. La scelta di un sito che utilizzi energie rinnovabili, abbia basse emissioni di carbonio e ottimizzi il consumo di risorse è essenziale per ridurre l'impronta ecologica dell'infrastruttura. Inoltre, la sostenibilità deve essere integrata nella gestione operativa del sito, garantendo che le risorse siano utilizzate in modo responsabile nel tempo. L'approccio sostenibile non solo contribuisce alla protezione dell'ambiente, ma può anche rappresentare un

vantaggio competitivo per l'organizzazione, rispondendo alla crescente domanda di responsabilità sociale e ambientale da parte dei clienti, investitori e altre parti interessate.

Nel contesto della localizzazione di un sito di DR, esistono diversi vincoli che devono essere considerati durante l'analisi delle alternative. Questi vincoli possono essere classificati come segue:

- **Budget disponibile.** Ogni scelta deve rispettare le limitazioni di budget imposte dall'organizzazione. Il budget non solo riguarda i costi iniziali di acquisizione e costruzione, ma anche i costi operativi a lungo termine.

- **Limite di rischio accettabile**. Ogni decisione sul sito di Disaster Recovery deve tenere conto del livello di rischio che l'organizzazione è disposta a tollerare. Questo include rischi legati alla sicurezza fisica, alle interruzioni dei servizi, alle perdite economiche o ai danni reputazionali. È importante definire con chiarezza i livelli di rischio accettabili per ciascuna delle variabili in gioco (come tempi di recupero, costi, e impatti operativi) e fare in modo che la scelta del sito di DR non superi questi limiti. Il rischio deve essere bilanciato con le risorse disponibili, i vincoli di budget e le esigenze di conformità normativa, garantendo che il sito scelto possa rispondere in modo efficace alle necessità aziendali anche in scenari critici.

- **Limite di vulnerabilità accettabile**. Ogni scelta relativa al sito di Disaster Recovery deve considerare il livello di vulnerabilità che l'organizzazione è disposta a tollerare. Questo include vulnerabilità fisiche, tecnologiche e operative. La selezione del sito deve garantire che il rischio di esposizione a minacce esterne, come disastri naturali o attacchi informatici, non superi i limiti di vulnerabilità definiti dall'organizzazione, assicurando la protezione continua delle risorse critiche.

- **Limite di connettività accettabile**. Ogni scelta relativa al sito di Disaster Recovery deve considerare il livello di connettività che l'organizzazione è disposta a tollerare. Questo include una connessione internet ad alta velocità, nonché un accesso stabile e sicuro a risorse energetiche, per mantenere attive le operazioni anche durante periodi di emergenza.

- **Livello minimo di sostenibilità**. Ogni sito di Disaster Recovery deve garantire un livello minimo di sostenibilità in termini di risorse energetiche, impatto ambientale e continuità operativa. La scelta del sito deve includere soluzioni che riducano al minimo l'impronta ecologica, assicurando nel contempo che le risorse necessarie per il funzionamento a lungo termine siano disponibili e adeguate. Questo livello minimo deve essere in linea con gli obiettivi di sostenibilità dell'organizzazione.

3.2. DATA Component

La DATA component è un elemento imprescindibile per il funzionamento efficace di un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS), in quanto fornisce le informazioni necessarie per alimentare i modelli decisionali con dati accurati, completi e aggiornati. La qualità e la completezza dei dati sono fondamentali per garantire che le decisioni prese siano informate e ottimali, specialmente in un contesto complesso come quello della localizzazione di un sito di Disaster Recovery (DR). Senza dati precisi, la capacità di valutare correttamente le opzioni disponibili e di fare scelte strategiche sarebbe compromessa. La Data Component non si limita a raccogliere informazioni, ma svolge anche un ruolo critico nell'integrazione e nell'analisi dei dati provenienti da diverse fonti. La combinazione di vari tipi di dati permette di avere una visione olistica della situazione, che a sua volta migliora la qualità delle decisioni. Di seguito vengono descritti i principali tipi di dati utilizzati in un DSS per la localizzazione di un sito di Disaster Recovery con particolare attenzione alla sostenibilità ambientale.

Di seguito sono descritte le tipologie di dati utilizzati

- **Dati spaziali (GIS)**. I Sistemi Informativi Geografici (GIS) sono strumenti essenziali per l'integrazione e l'analisi di dati spaziali. I GIS permettono di visualizzare informazioni geografiche, che sono fondamentali per la valutazione di rischi e opportunità legati alla localizzazione di un sito di DR. Tra i dati spaziali più rilevanti vi sono le mappe di rischio sismico, che evidenziano le aree più vulnerabili ai terremoti, e le mappe delle infrastrutture esistenti, come le reti di comunicazione, di energia elettrica e di trasporto (stradali e ferroviari). L'integrazione di questi dati consente di eseguire analisi spaziali che possono identificare aree ad alto rischio e valutare l'accessibilità di un sito proposto. Inoltre, i GIS possono essere utilizzati per analizzare la distanza tra il sito scelto e le principali infrastrutture critiche, come ospedali, centrali elettriche e altre risorse strategiche. L'integrazione di questi dati nel DSS facilita una visualizzazione chiara delle alternative di localizzazione e consente di prendere decisioni più informate

- **Dati demografici e socio-economici.** I dati demografici e socio-economici sono altrettanto cruciali per il processo decisionale, poiché forniscono una comprensione approfondita del contesto sociale ed economico dell'area in cui si sta considerando di localizzare il sito di DR. Questi dati includono informazioni sulla densità di popolazione, che può influenzare la resilienza di una zona in caso di emergenza, sul livello di criminalità e sulle potenziali minacce terroristiche o conflitti sociali. L'analisi di questi fattori è essenziale per stimare i rischi associati a disastri antropici, come attacchi terroristici, instabilità politica o criminalità organizzata, che potrebbero compromettere la sicurezza e l'operatività del sito di DR. Inoltre, i dati socio-economici forniscono indicazioni sul livello di sviluppo e sulle condizioni socio-economiche della regione, che possono influenzare la capacità della zona di recuperarsi da una crisi. L'integrazione di questi dati permette di considerare anche il rischio di

interruzioni provocate da eventi non naturali, offrendo una valutazione più completa del rischio complessivo

- **Dati finanziari**. Un altro elemento cruciale della Data Component riguarda i dati finanziari, che permettono di valutare la sostenibilità economica delle diverse opzioni di localizzazione. Questi dati comprendono informazioni sui costi di acquisizione o affitto del sito, i costi di infrastruttura e i costi operativi e di gestione a lungo termine. È fondamentale considerare non solo l'investimento iniziale necessario per acquisire o affittare un sito, ma anche le spese correnti relative alla manutenzione, alla gestione e al potenziamento delle infrastrutture, nonché i costi legati alla sicurezza, all'energia e ai servizi di supporto. I dati finanziari aiutano a valutare la sostenibilità economica della localizzazione scelta, prendendo in considerazione l'equilibrio tra costi iniziali e spese future. Inoltre, essi permettono di determinare la capacità dell'organizzazione di sostenere tali costi nel lungo periodo, considerando anche l'impatto delle fluttuazioni economiche e la possibilità di ottenere finanziamenti esterni. Questi dati, insieme ad altri fattori, costituiscono una base fondamentale per garantire che la scelta della localizzazione sia sostenibile anche a livello economico.

- **Dati ambientali.** Questi dati si concentrano sull'impatto ecologico delle attività che si svolgeranno nel sito di Disaster Recovery, valutando, ad esempio, la disponibilità di energie rinnovabili (come solare, eolico, geotermico) e la rispetto delle normative ambientali locali. È importante che il sito scelto non solo riduca il consumo di risorse naturali, ma che operi in modo da ridurre al minimo l'impatto ambientale, in linea con gli obiettivi globali di sostenibilità e riduzione delle emissioni di gas serra. I dati relativi alle emissioni di CO_2 e ad altri impatti ambientali (ad esempio, la gestione dei rifiuti e dell'acqua) sono essenziali per valutare l'impronta ecologica del sito. La scelta di un sito che promuova pratiche ecocompatibili non solo migliora la reputazione dell'organizzazione, ma contribuisce anche a una gestione responsabile a lungo termine.

3.3. Integrazione delle Componenti Modellistica e Dati

L'integrazione tra la componente MODEL e la componente DATA è essenziale per il buon funzionamento del Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS). Questo processo decisionale richiede una valutazione accurata di una serie di variabili: il rischio, i costi, l'accessibilità, la connettività e la sostenibilità.

I dati provenienti da diverse fonti (spaziali, socio-economici, ambientali, finanziari) alimentano i modelli decisionali, come quelli multi-criterio, che utilizzano dati GIS per analizzare rischio e accessibilità delle opzioni di localizzazione, considerando geografia, infrastrutture e aree a rischio. Questi dati permettono di simulare scenari di disastri naturali o antropici, valutando la risposta di ciascun sito in base ai rischi ambientali, socio-economici e all'accessibilità alle infrastrutture. L'integrazione tra modello e dati consente anche di valutare gli aspetti economici e ambientali, come i costi di gestione e l'accesso a energie rinnovabili, per confrontare le alternative non

solo in termini di sostenibilità economica, ma anche ecologica. I modelli utilizzano questi dati per generare e pesare le opzioni, tenendo conto di fattori come rischio, costi, connettività e impatto ambientale. Infine, attraverso l'ottimizzazione multi-criterio, il DSS suggerisce la localizzazione che offre il miglior compromesso tra sicurezza, costi, accessibilità e sostenibilità. L'integrazione delle componenti MODEL e DATA nel processo di localizzazione dei siti di DR consente di affrontare in modo completo e informato il processo decisionale. I dati forniscono la materia prima necessaria per alimentare i modelli decisionali, mentre i modelli analizzano e interpretano i dati per produrre risultati significativi che supportano una scelta strategica ottimale. Questo approccio integrato assicura che la selezione del sito di Disaster Recovery sia fatta considerando diversi fattori, garantendo la sostenibilità a lungo termine e la protezione delle operazioni aziendali in caso di emergenza.

CAPITOLO 4

4. Formulazione matematica degli obiettivi di ottimizzazione del rischio e dei costi

Per esprimere in termini matematici gli obiettivi del modello descritti nel Capitolo precedente, vengono definite delle funzioni obiettivo che devono essere ottimizzate, minimizzate o massimizzate, integrando i vari fattori che influiscono sulla decisione finale.

Le variabili decisionali nel modello di ottimizzazione sono quelle che determinano il risultato finale in base alle scelte effettuate. In questo caso, per ogni provincia, le variabili decisionali sono rappresentate dalla presenza o meno di un sito attivo. Ogni provincia è associata a una variabile binaria, che assume il valore 0 se il sito non è attivo e il valore 1 se il sito è attivo. Queste variabili binarie influenzano direttamente il calcolo degli obiettivi di ottimizzazione, come la minimizzazione del rischio, dei costi, e la massimizzazione dell'accessibilità, della connettività e della sostenibilità. La presenza di un sito attivo in una provincia impatta le probabilità di disastri (naturali e antropici), i costi operativi, la disponibilità delle infrastrutture, la qualità delle connessioni digitali e le prestazioni energetiche e ambientali. Pertanto, la decisione di attivare o meno un sito in una provincia è un fattore cruciale nella definizione della strategia complessiva.

Le variabili decisionali, di seguito elencate, sono essenziali per la formulazione delle funzioni obiettivo, poiché la scelta di attivare o meno un sito in una provincia (variabile binaria) avrà un impatto significativo su ciascun obiettivo di ottimizzazione (rischio, costi, accessibilità, connettività e sostenibilità).

4.1. Obiettivi

Di seguito sono riportate le formulazioni matematiche per ciascun obiettivo descritto.

Gli obiettivi sono calcolati su 23 province italiane significative. Da un dataset di 28 province sono state escluse 5 province nelle quali nel nostro caso di studio è attualmente presente un data center (Roma, Torino, Firenze, Napoli, Bari). Questo rispecchia una scelta del decisore di distanziare geograficamente il sito di DR dai data center presenti come descritto nel paragrafo 2.6 - Siti Off-Site. Per affrontare questa sfida, abbiamo assegnato dei punteggi specifici ai seguenti indicatori:

Minimizzazione del rischio. Il rischio complessivo, R, è una funzione che dipende dalla probabilità di disastri naturali ($P_{naturale}$) e antropici ($P_{antropico}$) dalla vulnerabilità delle infrastrutture ($V_{infrastruttura}$) e dalla storicità dei disastri nella regione ($S_{storico}$):

$$R = \sum_{j=1}^{23} \quad ((P_{naturale\ j} + P_{antropico\ j} + V_{infrastruttura\ j} + S_{storico\ j}) * StatoDR\ (j))$$

Dove:

- *j* è ciascuna provincia italiana nella quale può essere istallato il sito di DR;
- $P_{naturale}$ è la probabilità di eventi naturali (ad esempio, terremoti, inondazioni);
- $P_{antropico}$ è la probabilità di eventi antropici (incendi, attacchi terroristici);
- $V_{infrastruttura}$ è la vulnerabilità delle infrastrutture critiche;
- $S_{storico}$ è la storicità dei disastri nella regione;
- *StatoDR (j)* è di tipo binario 0, se l'algoritmo riporta il sito di DR nella provincia j assume il valore 1, 0 altrimenti.

L'obiettivo è ottimizzare il rischio quindi **minimizzare** R.

Ottimizzazione dei costi. I costi totali, C, sono una funzione che dipende dai costi di acquisizione o affitto del sito ($C_{acquisizione}$) dai costi infrastrutturali ($C_{infrastruttura}$) e dai costi operativi quotidiani $C_{operativi}$):

$$C=\sum_{j=1}^{23} \quad ((C_{acquisizione\ j} + C_{infrastruttura\ j} + C_{operativi\ j}) * StatoDR\ (j))$$

Dove:

- *j* è ciascuna provincia italiana nella quale può essere istallato il sito di DR;
- $C_{acquisizione}$ il costo di acquisto o affitto del sito;
- $C_{infrastruttura}$ è il costo delle infrastrutture fisiche necessarie;
- $C_{operativi}$ è il costo delle operazioni quotidiane;
- *StatoDR (j)* è di tipo binario 0, se l'algoritmo riporta il sito di DR nella provincia j assume il valore 1, 0 altrimenti.

L'obiettivo è ottimizzare i costi totali, quindi **minimizzare** C.

Massimizzazione dell'accessibilità. L'accessibilità, I, dipende dalla qualità della rete di trasporti ($T_{trasporti}$) e dalla disponibilità di risorse energetiche ($E_{energetiche}$):

$$I =\sum_{j=1}^{23} \quad ((T_{trasporti\ j} + E_{energetiche\ j}) * StatoDR\ (j))$$

Dove:

- *j* è ciascuna provincia italiana nella quale può essere istallato il sito di DR;
- $T_{trasporti}$ è una misura dell'accessibilità attraverso le infrastrutture di trasporto (strade, ferrovie, aeroporti);

- $E_{energetiche}$ è la disponibilità e la qualità delle risorse energetiche (energia elettrica, rinnovabili);
- *StatoDR (j)* è di tipo binario 0, se l'algoritmo riporta il sito di DR nella provincia j assume il valore 1, 0 altrimenti.

L'obiettivo è **massimizzare** I.

Massimizzazione della connettività. La connettività, D, è un valore che dipende dalla qualità della connessione digitale ($D_{digitale}$), dalla richiesta di dati $utilizzoDati$ e dallo stato del Data Center, $StatoDC$ (in funzione/non in funzione).

$$D = \sum_{j=1}^{23} \quad (D_{digitale\ j} * utilizzoDati\ (j) * D_{digitale\ e} * StatoDC\ (\text{e}) * StatoDR\ (j))$$

Dove:

- *j* è ciascuna provincia italiana nella quale può essere istallato il sito di DR;
- $D_{digitale}$ è una misura della qualità della connessione digitale (ad esempio, velocità internet, affidabilità della rete) ed è su scala 1-5;
- *e* è il Datacenter che eroga i servizi alla provincia *j* (DCriferimento), vi è un solo data center servente per ogni provincia;
- $utilizzoDati$ è su scala 1-5 ed indica il valore massimo di utilizzo di un canale di connessione tra una postazione di lavoro ed il rispettivo data center di riferimento;
- $StatoDC$ è di tipo binario 0 se il Data Center *e* è spento assume il valore 0, 1 altrimenti;
- *StatoDR (j)* è di tipo binario 0, se l'algoritmo riporta il sito di DR nella provincia j assume il valore 1, 0 altrimenti.

L'obiettivo è **massimizzare** D.

Garanzia della sostenibilità. La sostenibilità, S, è una funzione che dipende dall'efficienza energetica ($E_{efficienza}$) dalle emissioni di CO2 (C_{CO2}) e dall'uso di risorse rinnovabili ($R_{rinnovabili}$):

$$S = \sum_{j=1}^{23} \quad ((E_{efficienza\ j} + C_{CO2\ j} + R_{rinnovabili\ j}) * StatoDR\ (j))$$

Dove:

- *j* è ciascuna provincia italiana nella quale può essere istallato il sito di DR;
- $E_{efficienza}$ rappresenta l'efficienza energetica del sito;

- C_{CO2}è la quantità di emissioni di anidride carbonica generate dal sito;
- $R_{rinnovabili}$rappresenta la percentuale di energia rinnovabile utilizzata;
- *StatoDR (j)* è di tipo binario 0, se l'algoritmo riporta il sito di DR nella provincia j assume il valore 1, 0 altrimenti.

L'obiettivo è ottimizzare la sostenibilità quindi **massimizzare** S.

4.2. Funzione Obiettivo

Poiché tutti e cinque gli obiettivi devono essere bilanciati, la funzione obiettivo totale, Z, può essere espressa come una combinazione dei singoli obiettivi, ciascuno ponderato da un fattore di importanza:

$$Min\ Z = w_r\ R + w_c\ C - w_i\ I - w_s\ S - w_d\ D$$

Dove:

- w_r, w_c, w_i, w_s, w_d sono i pesi associati a ciascun obiettivo, che riflettono l'importanza relativa di ciascun fattore decisionale;
- $w_r + w_c + w_i + w_s + w_d = 1$;
- R è il rischio ambientale su scala 1-5 (da minimizzare);
- C è il costo su scala 1-5 (da minimizzare);
- I è l'accessibilità delle infrastrutture e la disponibilità di energia elettrica su scala 1-5 (da massimizzare);
- S è la sostenibilità su scala 1-5 (da massimizzare);
- D è la connettività, intesa come qualità della connessione digitale, utilizzo dei dati e stato del data center (da massimizzare).

4.3. Vincoli

Il modello include vari vincoli, come limiti ai costi, alla vulnerabilità del sito, alla sostenibilità energetica o altri fattori critici.

Limite massimo di rischio ambientale:

$$R \leq R_{max}$$

Limite massimo di costi:

$$C \leq C_{max}$$

Limite minimo disponibilità delle infrastrutture:

$$I \geq I_{minimo}$$

Limite minimo di sostenibilità richiesto:

$$S \geq S_{minimo}$$

Limite minimo di connettività:

$$D \geq D_{minimo}$$

4.4. Analisi del processo decisionale

Il processo decisionale consiste nel minimizzare la funzione obiettivo Z soggetta ai vincoli appena descritti. La minimizzazione della funzione obiettivo implica la ricerca di una combinazione ottimale di soluzioni che bilanci i vari obiettivi, tenendo conto dei pesi e che soddisfi tutti i vincoli.

In questo contesto, è possibile utilizzare tecniche di ottimizzazione multi-criterio, come il metodo della Programmazione Lineare (PL) o algoritmi evolutivi, per risolvere il problema. La scelta dell'approccio dipenderà dalla complessità del problema e dalla natura delle variabili coinvolte (discrete o continue). Tuttavia, l'elemento distintivo di questa ottimizzazione risiede nel bilanciamento dei vari obiettivi e nell'individuare la soluzione che, pur non essendo necessariamente la migliore in assoluto per ogni obiettivo, risulta essere la più equilibrata.

La scelta dei pesi è un passo critico, in quanto determina la priorità che viene attribuita a ciascun obiettivo. Ad esempio, se si ha una forte attenzione sulla sostenibilità e sulla connettività digitale, i pesi relativi per S e D potrebbero essere aumentati, mentre quelli per R e C potrebbero essere ridotti. La selezione di tali pesi dovrebbe idealmente riflettere le strategie aziendali, le normative ambientali e le necessità di mercato.

Inoltre, è importante considerare che la sensibilità del modello ai cambiamenti nei pesi può variare. A volte, piccole modifiche nei pesi possono portare a cambiamenti significativi nella soluzione ottimale.

Il problema che ci troviamo a dover risolvere riguarda la localizzazione di un sito di Disaster Recovery (DR) che possa supportare i cinque data center esistenti in Italia, ubicati a Roma, Bari, Firenze, Torino e Napoli. Questi data center erogano tutti i servizi necessari all'organizzazione. La loro capacità di continuare a funzionare in caso di disastro (sia naturale che tecnologico) è fondamentale per garantire la continuità operativa.

Il nostro obiettivo è identificare il sito di Disaster Recovery più idoneo tra le province italiane, tenendo in considerazione molteplici fattori legati alla connettività, ai costi, alla sostenibilità e alla resilienza, tra gli altri. Si tratta, infatti, di un problema complesso, che non può essere risolto con metodi tradizionali di ottimizzazione lineare, ma che richiede un approccio più sofisticato, come quello degli algoritmi evolutivi.

Per affrontare questa sfida, abbiamo generato una base di dati con una serie di indicatori (provenienti da diverse fonti) per ciascuna delle 23 province italiane più significative. In particolare, abbiamo assegnato dei punteggi specifici ai seguenti indicatori:

Indicatore	Descrizione
$D_{digitale}$	Livello di digitalizzazione della provincia.
$DCriferimento$	Semplificazione: un solo data center servente per una o più province.
$Utilizzodati$	Intensità e volume di utilizzo dei dati dalle postazioni di lavoro verso il data center di riferimento.
$StatoDC$	Stato di operatività del data center (in funzione o fuori servizio).
$Pnaturale$	Punteggio relativo al rischio naturale (terremoti, inondazioni, ecc.) della provincia.
$Pantropico$	Punteggio relativo ai rischi antropici, come disastri causati da errori umani o atti di terrorismo.
$Vinfrastruttura$	Affidabilità e capacità delle infrastrutture (reti elettriche, telecomunicazioni, trasporti) della provincia.
$Sstorico$	Storico dei disastri avvenuti nella provincia e loro impatto sui data center.
$Cacquisizione$	Costo per l'acquisizione di terreno e risorse necessarie per il sito.
$Cinfrastrutture$	Costo per lo sviluppo delle infrastrutture fisiche (edifici, reti, ecc.).
$Coperativi$	Costo annuale per la gestione e manutenzione del sito di Disaster Recovery.

$Cacquisizione$	Punteggio basato sull'analisi dei costi di acquisizione.
$Cinfrastruttural$	Punteggio basato sui costi infrastrutturali.
$Coperativi$	Punteggio basato sui costi operativi annuali.
$Ttrasporti$	Accessibilità della provincia attraverso le reti di trasporto (stradali, ferroviarie, aeree).
$Eenergetiche$	Disponibilità di energia (reti elettriche, fonti rinnovabili, ecc.).
$Ainfrastruttura$	Indicatori generali relativi alla qualità complessiva delle infrastrutture.
$Eefficienza$	Efficienza delle infrastrutture energetiche e di telecomunicazioni.
$CCO2$	Emissioni di CO2 della provincia.
$Rrinnovabili$	Percentuale di energia rinnovabile prodotta nella provincia.
$Sostenibilità$	Punteggio relativo alla sostenibilità ambientale.

La questione della localizzazione di un sito di Disaster Recovery presenta numerosi aspetti interconnessi e non lineari. Ogni provincia ha caratteristiche diverse e le scelte in un obiettivo influenzano inevitabilmente gli altri obiettivi. Ad esempio:

- Selezionare una provincia con costi più bassi potrebbe ridurre l'efficacia della sostenibilità energetica (se la provincia ha una bassa percentuale di energia rinnovabile).
- Scegliere una provincia con elevata connettività potrebbe risultare in un aumento dei costi operativi, dato che le aree più digitalizzate tendono ad avere infrastrutture più costose.
- Una provincia con un rischio naturale elevato (ad esempio, alta vulnerabilità a terremoti) potrebbe essere attraente per costi di acquisizione più bassi, ma aumenterebbe significativamente il rischio per il Disaster Recovery, riducendo la resilienza complessiva.

Questa interdipendenza tra gli obiettivi rende il problema non lineare, e quindi difficile da risolvere con metodi tradizionali come la programmazione lineare o la programmazione a vincoli. I metodi lineari funzionano bene solo quando gli obiettivi sono indipendenti e additivi, ma in questo caso, ogni decisione influenza gli altri obiettivi in modo complesso e non prevedibile.

4.5. Scelta dell’algoritmo evolutivo

Per affrontare la complessità del problema, caratterizzato da molteplici obiettivi e vincoli interconnessi, si è scelto di utilizzare un algoritmo evolutivo. Questo approccio consente di esplorare un'ampia gamma di soluzioni e di identificare quelle che offrono un buon compromesso tra i vari fattori in gioco. Tuttavia, esistono anche altri metodi di

ottimizzazione che potrebbero portare a soluzioni valide, e la scelta dell'algoritmo evolutivo è motivata dai seguenti specifici vantaggi:

- **Ottimizzazione multi-obiettivo**: consente di bilanciare diversi obiettivi contrastanti senza sacrificare eccessivamente nessuno di essi.
- **Ricerca globale**: esplora un ampio spazio delle soluzioni, riducendo il rischio di convergere su minimi locali.
- **Adattabilità**: permette di modificare i pesi degli obiettivi e di adattarsi a scenari differenti senza dover riprogettare il modello.
- **Gestione di problemi complessi**: è particolarmente efficace per problemi con vincoli articolati e non facilmente modellabili con metodi deterministici.

D'altra parte, gli algoritmi evolutivi presentano anche delle limitazioni, tra cui un maggiore costo computazionale, tempi di convergenza potenzialmente lunghi e l'assenza di garanzia che la soluzione trovata sia quella ottimale, sebbene sia spesso molto vicina.

L'algoritmo scelto opera modellando le soluzioni come individui di una popolazione, evolvendo attraverso fasi iterative di inizializzazione, valutazione, selezione, crossover, mutazione e sostituzione. Questo processo consente di migliorare progressivamente la qualità delle soluzioni individuate, offrendo una strategia efficace per affrontare il problema in esame.

4.6. Scelta dello strumento di visualizzazione

La complessità dei dati e delle soluzioni ottimali prodotte dall'algoritmo evolutivo rende la visualizzazione fondamentale per l'analisi e la comprensione. Per questo motivo, la rappresentazione grafica dei risultati diventa un passaggio essenziale per:

- **Comprendere la distribuzione delle soluzioni**. I risultati ottenuti dall'algoritmo evolutivo possono includere numerose soluzioni candidate, ognuna con caratteristiche diverse. Visualizzare questi risultati in maniera chiara aiuta a identificare rapidamente le posizioni migliori e le variabili che le influenzano.
- **Identificare i pattern di ottimizzazione**. L'analisi grafica permette di vedere se ci sono tendenze ricorrenti nei risultati, come zone geografiche che emergono come ottimali, o correlazioni tra i vari fattori (costi, connettività, rischi, etc.).
- **Facilitare le decisioni strategiche**. I decisori possono utilizzare la dashboard interattiva per esplorare vari scenari, confrontando visivamente le diverse soluzioni. Questo rende la decisione finale più informata e basata su una visualizzazione tangibile delle metriche ottimizzate.

Qlik: Caratteristiche e vantaggi dello strumento di dashboarding

Una volta ottenute le soluzioni ottimali attraverso l'algoritmo evolutivo, è fondamentale presentare e analizzare i risultati in modo chiaro e comprensibile. La visualizzazione dei dati gioca un ruolo cruciale nell'interpretazione dei risultati, permettendo ai decisori di esplorare visivamente le soluzioni più promettenti e comprendere come i vari fattori influenzano la localizzazione ideale del sito di Disaster Recovery. Per questo motivo, è necessario l'uso di strumenti avanzati di visualizzazione, come Qlik, che consentono di esplorare e analizzare i risultati in modo interattivo e dinamico.

Qlik è una piattaforma di business intelligence e analytics che consente di analizzare e visualizzare i dati in modo interattivo, attraverso diverse dashboard. Le sue principali caratteristiche, che lo rendono adatto al nostro caso di studio, includono:

- **Visualizzazioni interattive**: Qlik consente di creare grafici dinamici, mappe e diagrammi che si aggiornano in tempo reale in base alle selezioni fatte dall'utente. Questo è cruciale per esplorare i risultati dell'algoritmo evolutivo e comprendere le variabili in gioco.
- **Associazione di dati**: una delle caratteristiche distintive di Qlik è la sua capacità di associare e combinare grandi volumi di dati provenienti da diverse fonti. In questo caso, Qlik può integrare i risultati dell'algoritmo evolutivo con altre informazioni, come i costi e le condizioni logistiche di ogni localizzazione, creando una visione complessiva e dettagliata.
- **Dashboard personalizzabili**: le dashboard in Qlik sono altamente personalizzabili e possono essere adattate alle specifiche esigenze dell'utente. È possibile costruire report interattivi che mostrano non solo i risultati dell'algoritmo, ma anche eventuali scenari di simulazione o analisi "what-if".
- **Esplorazione dei dati**: con Qlik, è possibile effettuare operazioni di "drill-down" nei dati per esplorare ogni singolo risultato, capire come ogni variabile contribuisce alla posizione ottimale e visualizzare le interazioni tra le varie dimensioni.

CAPITOLO 5

5. Analisi dei risultati

5.1. Parametrizzazione della Funzione Obiettivo

Nel capitolo precedente, abbiamo definito il modello di ottimizzazione per la localizzazione di un sito di Disaster Recovery, tenendo conto di molteplici obiettivi contrastanti, tra cui rischio ambientale, costi, accessibilità, sostenibilità e connettività. In questo capitolo, definiamo i parametri della funzione obiettivo, che determinano il peso relativo di ciascun obiettivo e influenzano la selezione delle migliori soluzioni.

Poiché il Disaster Recovery deve garantire un equilibrio tra sicurezza, efficienza economica e connettività, abbiamo attribuito i seguenti pesi agli obiettivi:

- **Rischio Ambientale (R):** 0,25
- **Costi (C):** 0,10
- **Accessibilità (I):** 0,25
- **Sostenibilità (S):** 0,20
- **Connettività (D):** 0,20

Questa configurazione bilancia la necessità di ridurre il rischio ambientale e garantire un sito accessibile, mantenendo comunque un'attenzione significativa alla sostenibilità e alla connettività, mentre i costi hanno un peso relativamente inferiore per non compromettere la sicurezza e l'efficacia operativa del sito.

Tuttavia, per analizzare come la scelta dei pesi influisca sulle soluzioni ottimali, consideriamo anche un **secondo scenario**, in cui la sostenibilità assume un ruolo prioritario, riflettendo un approccio più attento agli impatti ambientali e sociali:

- **Rischio Ambientale (R):** 0,20
- **Costi (C):** 0,10
- **Accessibilità (I):** 0,20
- **Sostenibilità (S):** 0,30
- **Connettività (D):** 0,20

Con questa parametrizzazione, il modello privilegia soluzioni che minimizzano l'impatto ambientale e favoriscono un’infrastruttura resiliente e sostenibile, sebbene ciò possa comportare compromessi su accessibilità e rischio ambientale.

Questi pesi riflettono l'importanza relativa di ciascun obiettivo nella scelta del sito di Disaster Recovery ideale. In seguito, presentiamo i valori ottimali della funzione obiettivo e i risultati ottenuti per ogni obiettivo, nonché la valutazione della connettività tra il sito di Disaster Recovery e i cinque data center esistenti.

La funzione obiettivo è stata formulata come segue:

$$Min\ Z = w_r \cdot R + w_c \cdot C - w_i \cdot I - w_s\ S - w_d \cdot D$$

Dove, consideriamo i pesi descritti nel paragrafo precedente in entrambi i casi, ovvero:

CASO1

- w_r = 0.25 è il peso associato al **rischio ambientale;**
- w_c = 0.10 è il peso associato ai **costi;**
- w_i = 0.25 è il peso associato all'**accessibilità;**
- w_s = 0.20 è il peso associato alla **sostenibilità;**
- w_d = 0.20 è il peso associato alla **connettività.**

CASO2

- w_r = 0.20 è il peso associato al **rischio ambientale;**
- w_c = 0.10 è il peso associato ai **costi;**
- w_i = 0.20 è il peso associato all'**accessibilità;**
- w_s = 0.30 è il peso associato alla **sostenibilità;**
- w_d = 0.20 è il peso associato alla **connettività.**

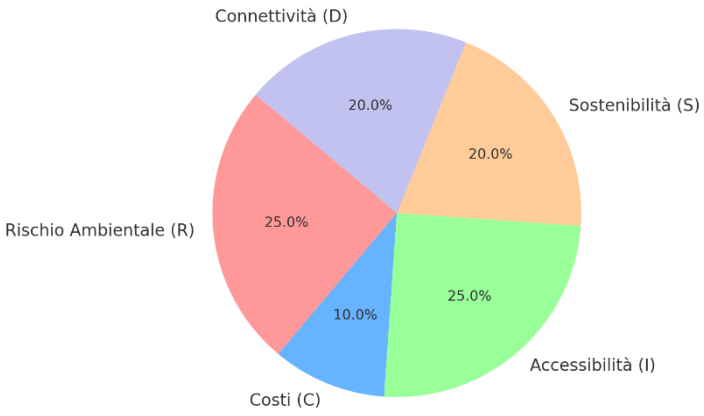


Figura 1 Distribuzione dei pesi nella Funzione obiettivo nel CASO 1

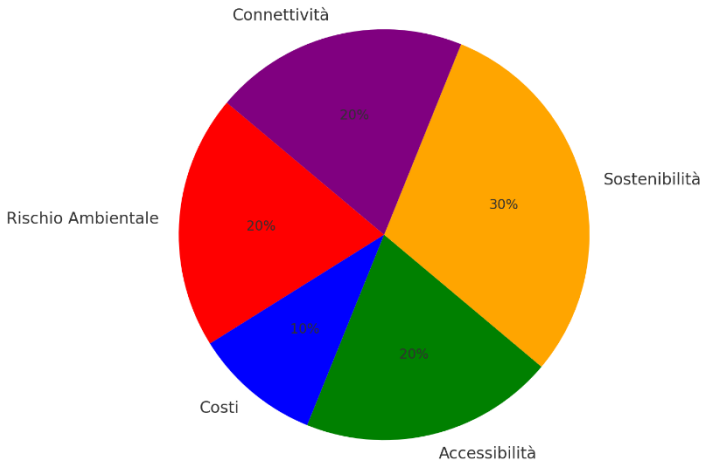


Figura 2 Distribuzione dei pesi nella Funzione obiettivo nel CASO 2

In entrambi i casi si simula lo spegnimento del DC situato nella provincia di Roma.Il caso 1 come descritto in seguito porta alla soluzione ottima di costruire il sito di Disaster Recovery nell'area di Brescia, mentre il caso 2 porta alla costruzione del sito nell'area di Parma. Di seguito elencati i parametri rispettivamente della soluzione del Caso 1, Brescia, e del Caso 2, Parma.

DR Brescia:

- **Rischio Ambientale (R):** 14
- **Costi (C):** 15
- **Accessibilità (I):** 10
- **Sostenibilità (S):** 15
- **Connettività (D):** 48

DR Parma:

- **Rischio Ambientale (R):** 14
- **Costi (C):** 9
- **Accessibilità (I):** 10
- **Sostenibilità (S):** 15
- **Connettività (D):** 25

Nell'ambito del primo scenario, abbiamo effettuato in totale **cinque simulazioni**, ciascuna corrispondente all'indisponibilità di un singolo Data Center (DC). Per ogni

simulazione, abbiamo eseguito l'algoritmo di ottimizzazione, ottenendo una soluzione specifica per il caso in cui il data center in esame risultasse non operativo.

Si specifica che, in ogni esecuzione dell'algoritmo:

- Il valore del data center che subisce il guasto è stato impostato a zero, riflettendo la sua indisponibilità.
- La soluzione ottenuta tiene conto di questa condizione, ricalcolando la funzione obiettivo e individuando la migliore localizzazione possibile per il sito di Disaster Recovery.
- Poiché ogni simulazione considera un guasto diverso, le soluzioni ottimali variano a seconda del data center fuori servizio.

Questa metodologia ci ha permesso di valutare l'impatto della perdita di ciascun DC e di identificare un insieme di soluzioni resilienti che garantiscano continuità operativa nel caso di guasti imprevisti. Come si vedrà dai risultati, è fondamentale sottolineare l'importanza della scelta umana nella definizione dei pesi attribuiti ai diversi obiettivi. La parametrizzazione della funzione obiettivo non è un valore assoluto, ma dipende dalle priorità strategiche decise in fase di analisi. Ad esempio:

- Se si attribuisce maggiore peso ai **costi**, il modello tenderà a selezionare soluzioni più economiche, anche a discapito di fattori come la sostenibilità o l'accessibilità.
- Se si enfatizza la **sostenibilità**, verranno scelte soluzioni con un minore impatto ambientale, che potrebbero però comportare costi più elevati o ridurre la connettività con i data center esistenti.

Questa componente decisionale evidenzia come l'algoritmo fornisca supporto nell'individuare la migliore soluzione possibile all'interno dei vincoli definiti, ma la sua efficacia dipenda direttamente dalle scelte strategiche e dai valori assegnati ai diversi obiettivi.

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti, tramite l'utilizzo del solver di Excel, per la funzione obiettivo:

Caso 1.1 Indisponibilità del DC di Roma

Il primo scenario simula lo spegnimento del Data Center di Roma. Il modello ha restituito come soluzione ottima la costruzione del sito di Disaster Recovery nell'area di Brescia, i cui risultati sono già mostrati nel paragrafo precedente.

Caso 1.2 Indisponibilità del DC di Torino

Il secondo scenario simula lo spegnimento del Data Center di Torino. Il modello ha restituito come soluzione ottima la costruzione del sito di Disaster Recovery nell'area di Milano caratterizzata dai seguenti punteggi:

- **Rischio Ambientale (R):** 14
- **Costi (C):** 15
- **Accessibilità (I):** 10
- **Sostenibilità (S):** 19
- **Connettività (D):** 67

Caso 1.3 Indisponibilità del DC di Firenze

Il terzo scenario simula lo spegnimento del Data Center di Firenze. Il modello ha restituito come soluzione ottima la costruzione del sito di Disaster Recovery nell'area di Genova caratterizzata dai seguenti punteggi:

- **Rischio Ambientale (R):** 20
- **Costi (C):** 15
- **Accessibilità (I):** 10
- **Sostenibilità (S):** 16
- **Connettività (D):** 62

Caso 1.4 Indisponibilità del DC di Napoli

Il quarto scenario simula lo spegnimento del Data Center di Napoli. Il modello ha restituito come soluzione ottima la costruzione del sito di Disaster Recovery nell'area di Milano caratterizzata dai seguenti punteggi:

- **Rischio Ambientale (R):** 14
- **Costi (C):** 15
- **Accessibilità (I):** 10
- **Sostenibilità (S):** 19
- **Connettività (D):** 61

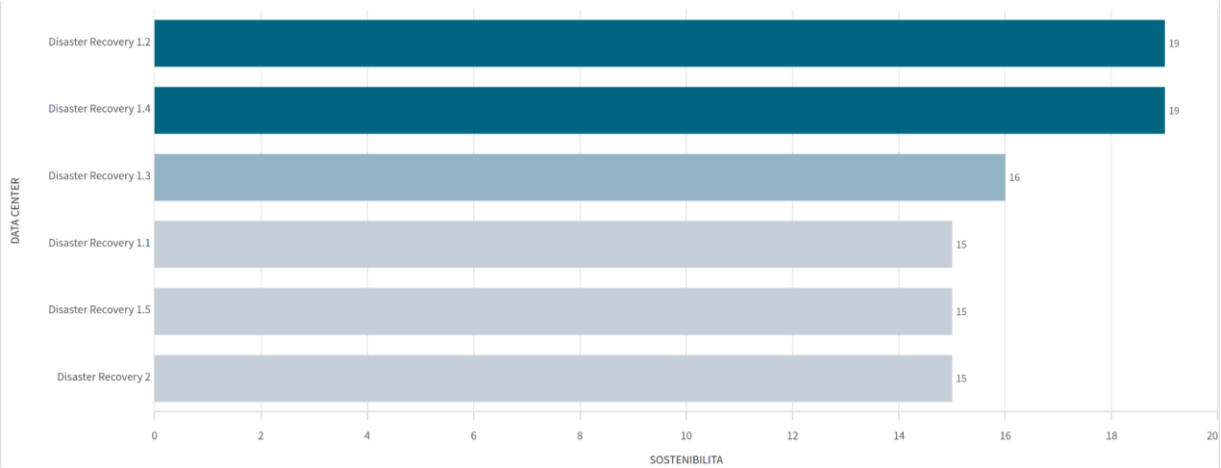
Caso 1.5 Indisponibilità del DC di Bari

Il quarto scenario simula lo spegnimento del Data Center di Bari. Il modello ha restituito come soluzione ottima la costruzione del sito di Disaster Recovery nell'area di Brescia caratterizzata dai seguenti punteggi:

- **Rischio Ambientale (R):** 14
- **Costi (C):** 15

- **Accessibilità (I):** 10
- **Sostenibilità (S):** 15
- **Connettività (D):** 50

Di seguito viene riportata un'analisi comparativa sulla sostenibilità nei vari scenari simulati.



5.2. Conclusioni

La localizzazione di un sito di Disaster Recovery rappresenta una sfida complessa, in cui si devono bilanciare obiettivi contrastanti come il rischio ambientale, i costi, l'accessibilità, la sostenibilità e la connettività. Il modello di ottimizzazione sviluppato, basato su algoritmi evolutivi, ha dimostrato di essere uno strumento efficace per affrontare questa complessità. Esso permette di esplorare un ampio ventaglio di soluzioni possibili e di ottimizzare simultaneamente vari obiettivi, raggiungendo un equilibrio tra le diverse priorità.

Il modello di ottimizzazione sviluppato, basato su algoritmi evolutivi, ha dimostrato di essere un valido supporto decisionale, ma il risultato finale dipende dalle scelte strategiche del decisore umano. Infatti, la parametrizzazione della funzione obiettivo non è assoluta: assegnare maggiore peso ai costi porta a soluzioni economicamente vantaggiose ma potenzialmente meno sostenibili o accessibili, mentre enfatizzare la sostenibilità può comportare scelte con un minor impatto ambientale a discapito di costi o connettività. Inoltre, il contesto decisionale è dinamico e soggetto a cambiamenti nel tempo, come l'evoluzione delle politiche energetiche e delle infrastrutture. Per questo motivo, è essenziale un monitoraggio continuo e un aggiornamento costante dei parametri, così da garantire che la soluzione di Disaster Recovery resti sempre allineata alle esigenze aziendali e alle condizioni operative. Solo attraverso un approccio flessibile e iterativo, che combini l'ottimizzazione

computazionale con il giudizio strategico, è possibile assicurare la resilienza dell'infrastruttura tecnologica aziendale in scenari di emergenza in continua evoluzione.

I risultati ottenuti suggeriscono che, per una localizzazione ottimale del sito, la sostenibilità e l'accessibilità devono essere considerate prioritarie, mentre il rischio ambientale e i costi devono essere minimizzati, sebbene non possano mai essere completamente eliminati. La connettività con i data center esistenti emerge come un fattore decisivo nella scelta del sito ideale, poiché un'infrastruttura di rete solida è cruciale per garantire la continuità operativa in caso di emergenza. Questi risultati hanno permesso di identificare le province italiane più idonee per la creazione di un sito di Disaster Recovery che risponda alle necessità aziendali e agli standard operativi.

Tuttavia, è importante evidenziare che il contesto in cui si inserisce questa decisione non è statico. I fattori che influenzano la scelta di un sito di Disaster Recovery, come la disponibilità di risorse energetiche, le condizioni di accessibilità, la qualità delle infrastrutture e i rischi ambientali, sono soggetti a cambiamenti nel tempo. Ad esempio, l'evoluzione delle politiche energetiche o le modifiche nelle reti di trasporto possono alterare significativamente le condizioni di fattibilità e convenienza di una determinata provincia. Per questo motivo, il monitoraggio continuo delle variabili che impattano il modello di ottimizzazione è essenziale. Solo con un aggiornamento regolare dei parametri utilizzati, il sistema di Disaster Recovery potrà rimanere flessibile e adattarsi alle mutevoli circostanze.

La capacità di monitorare e rivedere periodicamente i parametri dell'ottimizzazione consente non solo di rispondere tempestivamente a cambiamenti esterni, ma anche di garantire che la soluzione adottata resti sempre allineata alle esigenze aziendali e alle evoluzioni normative e tecniche. Un approccio dinamico e proattivo al monitoraggio e all'ottimizzazione della localizzazione del sito di Disaster Recovery assicura una resilienza continua, prevenendo potenziali problematiche e migliorando l'efficacia complessiva della pianificazione.

In definitiva, sebbene il modello di ottimizzazione sviluppato offra una solida base decisionale, è fondamentale considerarlo come parte di un processo iterativo. L'integrazione di tecniche di monitoraggio continuo e la capacità di adattamento alle nuove condizioni esterne sono componenti essenziali per garantire che la soluzione di Disaster Recovery rimanga robusta ed efficace nel lungo periodo. Solo attraverso questo approccio dinamico e adattivo sarà possibile assicurare la resilienza dell'infrastruttura tecnologica aziendale anche di fronte a scenari di emergenza in continua evoluzione.

FONTI

Normative e Standard Internazionali:

- **ISO 14001** – Sistema di gestione ambientale: norme internazionali relative alla gestione delle risorse ambientali.
- **LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)** – Certificazione per edifici ecocompatibili.
- **Green IT** – Iniziative di sostenibilità applicate alle tecnologie dell'informazione, che includono il design energetico e il riciclo delle risorse IT.
- **ISO 22301:2019** – Business Continuity Management Systems: standard per la gestione della continuità operativa, incluso il Disaster Recovery e la pianificazione della localizzazione dei siti.
- **ISO 27031:2011** – Guidelines for Information and Communication Technology Readiness for Business Continuity: linee guida per la preparazione delle tecnologie dell'informazione in relazione alla Business Continuity e al Disaster Recovery.
- **NIST SP 800-34 Revision 1** – Contingency Planning Guide for Federal Information Systems: risorsa fondamentale per la pianificazione della continuità operativa e il recupero delle informazioni.
- **General Data Protection Regulation (GDPR)** – Regolamento della Commissione Europea per la protezione dei dati personali, rilevante per la gestione dei siti di Disaster Recovery in Europa.

Manuali e Linee Guida Professionali:

- **Business Continuity Institute (BCI)** – Good Practice Guidelines: linee guida e best practice per la gestione della Business Continuity e del Disaster Recovery.
- **DRI International** – Disaster Recovery Institute's Professional Practices: linee guida per la pianificazione del Disaster Recovery, riconosciute a livello mondiale.
- **AWS Well-Architected Framework** – Reliability Pillar: linee guida di Amazon Web Services per la resilienza e il Disaster Recovery nei sistemi.
- **Google Cloud Architecture Framework** – Disaster Recovery: linee guida pratiche per implementare strategie di Disaster Recovery nel cloud.

Libri:

- **Belton, V. & Stewart, T.** (2002) *Multiple Criteria Decision Analysis*. London: Kluwer.
- **Bouyssou, D., Marchant, T., Pirlot, M., Tsoukias, A., & Vincke, P.** (2007) *Evaluation and Decision Models with Multiple Criteria: A Critical Perspective*. Springer, International Series in Operations Research & Management Science, Vol. 32.

- **Falcone, D., De Felice, F., & Saaty, T. L.** (2009) *Il Decision Marketing e i Sistemi Decisionali Multicriterio: Le Metodologie AHP e ANP*. HOEPLI EDITORE.
- **Goodwin, P. & Wright, G.** (2014) *Decision Analysis for Management Judgement*. Chichester: Wiley.
- **Sauter, V. L.** (2010) *Decision Support Systems for Business Intelligence* (Second Edition). John Wiley & Sons, Inc.
- **Saaty, T. L. & Vargas, L. G.** (2013) *Decision Making with the Analytic Network Process: Economic, Political, Social, and Technological Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks*.
- **Sugumaran, R. & Degroote, J.** (2010) *Spatial Decision Support Systems: Principles and Practices*. CRC Press, Inc.

Articoli Scientifici:

- Dell'Olmo, P., Ricciardi, N., & Sgalambro, A.** (2014) *A Multiperiod Maximal Covering Location Model for the Optimal Location of Intersection Safety Cameras on an Urban Traffic Network*. PROCEDIA - Social and Behavioral Sciences, 108, pp. 106-117. ISSN: 1877-0428.
- Dell'Olmo, P. & Sgalambro, A.** (2011) *The Spatially Equitable Capacitated Multicommodity Network Flow Problem*. LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE, 6701, pp. 196-209. ISSN: 0302-9743.
- Densham, P.J.** (1991) *Spatial Decision Support Systems*. In *Geographical Information Systems: Principles and Applications* (ed. D.J. Maguire, M.F. Goodchild, and D.W. Rhind), pp. 403-412. New York: John Wiley & Sons.
- Ferretti, V., & Montibeller, G.** (2016) *Key Challenges and Meta-Choices in Designing and Applying Multi-Criteria Spatial Decision Support Systems*. Decision Support Systems, 84, pp. 41-52. ISSN 0167-9236.
- Ferretti, V.** (2011) *A Multicriteria Spatial Decision Support System Development for Siting a Landfill in the Province of Torino (Italy)*. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, 18(5-6), pp. 231-252.
- Geoffrion, A. M.** (1983) *Can OR/MS Evolve Fast Enough?* Interfaces, 13, pp. 10–25.
- Maniezzo, V., Mendes, I., & Paruccini, M.** (1998) *Decision Support for Siting Problems*. Decision Support Systems, 23(3), pp. 273-284.
- Boroushaki, S. & Malczewski, J.** (2010) *Measuring Consensus for Collaborative Decision-Making: A GIS-Based Approach*. Computers, Environment and Urban Systems, 34(4), pp. 322-333.