

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
CAMPUS DI CESENA

DIPARTIMENTO DI INFORMATICA – SCIENZA E INGEGNERIA
Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche

**PROGETTAZIONE E SVILUPPO
DI UNA WEB APP
PER LA FRUIZIONE DEI
PERCORSI ESCURSIONISTICI
DELLA REGIONE
EMILIA-ROMAGNA**

Relatore:
Dott. Giovanni Delnevo

Presentata da:
Samuele De Tuglie

**Sessione II
Anno Accademico 2022-2023**

Introduzione

Nell'ultimo periodo, con l'arrivo dell'Industria 4.0, abbiamo assistito ad un'accelerazione straordinaria nell'adozione di tecnologie avanzate rivoluzionando molti settori, tra cui il turismo [1] e le attività escursionistiche, portando inoltre all'utilizzo di molte tecnologie innovative, tra cui il Digital Twin, il Digital Shadow e il Digital Thread.

Il contesto in cui si colloca questa tesi è proprio questo scenario di trasformazione. In particolare, questa tesi si propone di presentare una piattaforma web progettata per offrire un servizio dedicato agli appassionati delle escursioni nella regione Emilia-Romagna. L'obiettivo primario di questa piattaforma è quello di arricchire l'esperienza degli escursionisti, integrando i principali concetti di Digital Twin, Digital Shadow e Digital Thread.

La piattaforma permette agli escursionisti non solo di esplorare e pianificare i loro percorsi rendendo questi disponibili sotto forma di mappa interattiva, ma offre anche la possibilità di contribuire attivamente all'arricchimento dei dati. Gli utenti hanno la possibilità di condividere informazioni sui singoli punti di interesse lungo i percorsi, come ad esempio gli orari di apertura dei musei o dettagliate descrizioni di siti storici, migliorando così l'esperienza per tutti gli utenti. Nel frattempo, gli amministratori della piattaforma mantengono il controllo dei dati inseriti, garantendo l'accuratezza e la qualità delle informazioni condivise.

Per quanto riguarda la struttura della tesi, il documento è suddiviso in tre sezioni principali:

1. Contesto

Questa sezione offre un'analisi approfondita dei concetti di Digital Twin, Digital Shadow e Digital Thread, stabilendo chiaramente i legami con l'applicazione sviluppata. Verranno esplorate in dettaglio le definizioni di ciascun concetto, ne saranno tracciate le origini storiche e saranno esaminati i vantaggi legati alla loro implementazione. Attraverso questa esaustiva panoramica teorica, l'obiettivo è quello di creare una comprensione completa del contesto in cui si inserisce l'applicazione, mettendo in luce l'importante ruolo che questi concetti hanno svolto nella progettazione e nello sviluppo della piattaforma.

2. Tecnologie Usate

Questa sezione si concentra sulle tecnologie fondamentali utilizzate per la realizzazione della piattaforma. Verrà eseguita un'analisi approfondita dei vari linguaggi di programmazione e degli strumenti web impiegati, esplorandone le caratteristiche, le applicazioni e i benefici derivanti dalla loro adozione. Questo capitolo offre una solida base tecnica, consentendo ai lettori di acquisire una comprensione completa delle competenze necessarie per lo sviluppo della piattaforma.

3. Visualizzazione dei Percorsi Escursionistici

In questa sezione verranno presentate dettagliatamente le numerose schermate e le funzionalità dell'applicazione web sviluppata. Oltre a fornire una panoramica esaustiva delle schermate dell'applicazione, verranno esplorate anche le sfide tecniche e progettuali affrontate in ogni fase del processo di sviluppo. Attraverso esempi di codice e spiegazioni dettagliate, sono stati affrontati problemi specifici e ottimizzato l'interazione tra utente e piattaforma. Questa sezione serve per offrire una panoramica approfondita sulle decisioni di design, le scelte tecnologiche e le soluzioni creative che hanno contribuito a creare questa piattaforma.

In sintesi, questa tesi si pone obiettivo di migliorare l'esperienza de-

gli escursionisti nella regione Emilia-Romagna, coinvolgendo attivamente gli utenti stessi e capitalizzando appieno le opportunità offerte dall'era dell'Industria 4.0.

Indice

Introduzione	i
1 Contesto	1
1.1 Digital Twin	2
1.1.1 Introduzione del Digital Twin	2
1.1.2 Storia del Digital Twin	3
1.1.3 Vantaggi e caratteristiche del Digital Twin	6
1.1.4 Categorie del Digital Twin	11
1.1.5 Gerarchia del Digital Twin	13
1.1.6 Livello di Maturità/Sofisticazione	14
1.2 Digital Thread	16
1.2.1 Vantaggi e Applicazioni	17
1.3 Digital shadow	19
1.3.1 Definizione	19
1.3.2 Vantaggi del <i>Digital Shadow</i>	19
1.3.3 Preoccupazioni del <i>Digital Shadow</i>	20
1.3.4 Economia dei dati	20
1.3.5 Etica e regolamentazione del <i>Digital Shadow</i>	21
2 Tecnologie usate	23
2.1 HTML	23
2.2 CSS	24
2.3 Javascript	25
2.3.1 AJAX	26

2.3.2	Framework e librerie	26
2.4	Leaflet	26
2.4.1	Caratteristiche principali	27
2.5	Vue.js	27
2.5.1	Libreria VueLeaflet	28
2.6	NPM	29
2.7	PHP	30
2.8	API	31
2.8.1	Tipi di API	31
2.8.2	RESTful APIs	32
2.8.3	Uso delle API	32
2.8.4	Documentazione	32
2.8.5	Evoluzione delle API	33
2.9	JSON	33
2.10	XML	34
2.10.1	JSON contro XML	35
2.11	SQL	35
2.11.1	Normalizzazione dei dati	35
2.12	XAMPP	36
2.12.1	Componenti di XAMPP	36
2.12.2	Configurazione e gestione	37
2.12.3	Testing e sicurezza	37
2.13	MySQL	37
2.13.1	Struttura dei Dati Relazionali	38
2.13.2	Uso nelle Applicazioni Web	38
2.14	Apache HTTP Server	39
2.15	Git	40
2.15.1	Vantaggi di Git	41
2.15.2	Piattaforme di Hosting	41
3	Visualizzazione dei Percorsi Escursionistici	43
3.1	Database	43

3.2 Connettere front-end e back-end	44
3.2.1 Implementazione AJAX	45
3.3 Popolamento Database	46
3.4 Servizio multi pagina di Vue.js	47
3.5 Cura del codice	48
3.6 Pagina principale	48
3.7 Geo localizzazione	49
3.8 Informazioni sui percorsi	50
3.9 Registrazione e accesso	51
3.10 Informazioni sui punti di interesse	51
3.11 Pagina dei preferiti	51
3.12 Aggiungere informazioni ai punti	51
Conclusioni	61
Bibliografia	63

Elenco delle figure

1.1	Grafico Google Trends ricerche sul Digital Twin	2
1.2	Grafico valutazione Digital Twin	3
1.3	Grafico pubblicazione Digital Twin	6
1.4	Gerarchia del Digital Twin	13
1.5	Esempio funzionamento Digital Thread	16
3.1	Struttura del database	44
3.2	Impostazione web server	45
3.3	Implementazione di una funzione per le chiamate asincrone . .	46
3.4	Pagina di caricamento del database	47
3.5	Codice per impostare i vari percorsi per le pagine	53
3.6	Regole principale di eslint	54
3.7	Pagina principale	55
3.8	Mappa satellitare con i percorsi ferroviari evidenziati	55
3.9	Dimostrazione funzionamento mappa	56
3.10	Dimostrazione informazioni mappa	57
3.11	Pagina di registrazione	58
3.12	Pagina per effettuare l'accesso	58
3.13	Informazioni di un percorso	59
3.14	Pagina dei preferiti	60
3.15	Pagina per aggiungere informazioni sui punti di interesse . . .	60

Capitolo 1

Contesto

In questo capitolo ci si immergerà nell'ambito delle tecnologie digitali emergenti che stanno ridefinendo il panorama tecnologico odierno. Esploreremo in profondità le componenti fondamentali di questo ecosistema, concentrando su concetti come il *Digital Twin*, il *Digital Thread* e il *Digital Shadow*.

Questo capitolo si concentrerà prevalentemente sul concetto di *Digital Twin*, esaminando le sue definizioni, la sua evoluzione storica e i vantaggi che offre. Esploreremo anche le categorie e le gerarchie sottostanti, analizzando come questo concetto sia utilizzato in diversi ambiti.

Successivamente, parleremo del *Digital Thread*, esplorando le sue applicazioni e vantaggi. Sarà fondamentale comprendere come questo concetto si integra nell'ecosistema più ampio delle tecnologie digitali.

Infine, affronteremo il concetto di *Digital Shadow*. Esamineremo cosa si intende con questo termine, evidenziando sia i benefici che i possibili problemi che potrà presentare in futuro. In particolare, esploreremo le questioni legate all'etica e alla regolamentazione che sorgono in relazione al concetto di *Digital Shadow*, oltre a esaminare il ruolo fondamentale dell'economia dei dati.

Attraverso l'approfondimento delle sottosezioni all'interno di questo capitolo, otterremo una comprensione completa di come queste tecnologie stanno ridefinendo una serie di settori.

1.1 Digital Twin

Il *Digital Twin* si riferisce alla copia virtuale di qualsiasi entità fisica (la traduzione in italiano è "gemello fisico"), entrambi interconnessi tramite lo scambio di dati in tempo reale [2].

L'applicazione del *Digital Twin* include il monitoraggio in tempo reale, la progettazione/pianificazione, l'ottimizzazione, la manutenzione, l'accesso remoto, ecc. La sua implementazione è prevista in crescita esponenziale nei prossimi decenni a giudicare dai *Google trends* (figura 1.1).

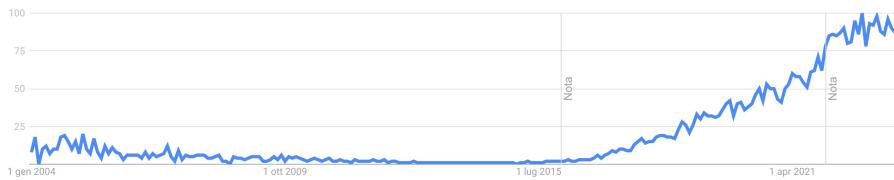


Figura 1.1: Ricerche su *Digital Twin* effettuate dal 2004 al 2023 su Google [3]

1.1.1 Introduzione del Digital Twin

Con l'avvento dell'Industria 4.0 il *Digital Twin* è considerato di estrema importanza. I vari utilizzi del *Digital Twin* in diversi settori includono la progettazione, pianificazione, ottimizzazione, manutenzione, sicurezza, presa di decisioni, accesso remoto e formazione. Può essere uno strumento prezioso per le aziende per aumentare la loro competitività, produttività ed efficienza [4].

Il mercato globale del *Digital Twin* è stato stimato a 3,1 miliardi di dollari nel 2020 e ci si aspetta che crescerà in modo esponenziale negli anni successivi (stimato intorno ai 137 miliardi per il 2030, figura 1.2).

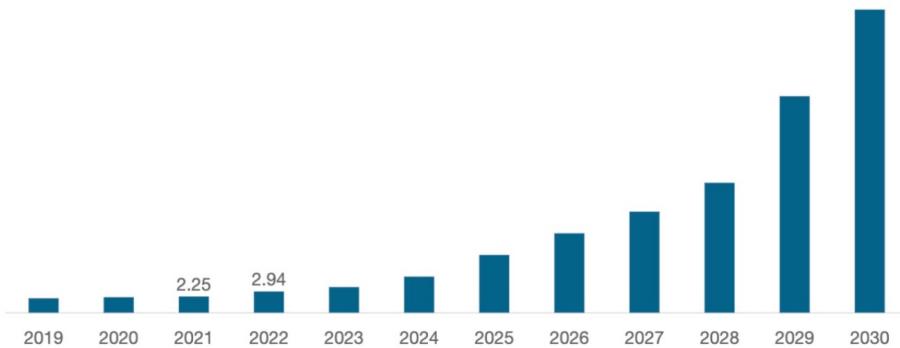


Figura 1.2: Valutazione futura stimata sul *Digital Twin* [5]

La pandemia di COVID-19 ha cambiato il modo in cui vengono considerate la produzione e la manutenzione, accelerando l'adozione dei Digital Twin [6].

1.1.2 Storia del Digital Twin

Nonostante il *Digital Twin* abbia guadagnato una grande popolarità negli ultimi anni, il concetto non è del tutto nuovo. Il suo concetto è emerso in relazione alla "Gestione del Ciclo di Vita del Prodotto" nel 2002 presso l'Università del Michigan da Michael Grieves [7].

Il modello proposto ha tre componenti: prodotto reale, prodotto virtuale e un meccanismo di collegamento per il flusso di dati tra i due; il modello è stato poi chiamato "Modello di Prodotti Specchiati" [8].

Un concetto simile, in cui i modelli software imitano la realtà a partire da informazioni provenienti dal mondo fisico, è stato immaginato da David Gelernter nel 1991 ed è stato chiamato "Mondi Specchiati" [9].

Entro il 2006, il nome del modello concettuale proposto da Grieves è stato cambiato da "Modello di Prodotti Specchiati" a "Modello di Riflessione delle Informazioni" [10, 11].

Il nome *Digital Twin* appare per la prima volta sotto forma di bozza in un articolo della NASA nel 2010 [12]. Nell'articolo della NASA, il *Digital Twin* veniva anche definito "Leader di Flotta Virtuale Digitale". La NASA è stata la prima associazione a definire il *Digital Twin*; è stato descritto come "una simulazione integrata multi-fisica, multi-scala e probabilistica di un veicolo o sistema che utilizza i migliori modelli fisici disponibili, aggiornamenti dei sensori, storia della flotta, ecc., per riflettere la vita del suo gemello volante" [2].

Anche se la prima menzione del *Digital Twin* è nella roadmap del 2010, la NASA aveva utilizzato un concetto simile in passato per il programma Apollo, in cui venivano costruiti due veicoli spaziali identici per riflettersi a vicenda [13].

Successivamente la "U.S. Air Force" ha seguito le orme della NASA ed ha utilizzato il *Digital Twin* per la progettazione, la manutenzione e la previsione dei loro aerei [14]. L'idea era quella di utilizzare il *Digital Twin* per simulare le proprietà fisiche e meccaniche dell'aeromobile per prevedere qualsiasi affaticamento o crepa nella struttura.

Oltre al monitoraggio, il *Digital Twin* è stato anche proposto per l'esplorazione spaziale sostenibile e per le future generazioni di veicoli aerospaziali [2].

Dalla prima definizione mai pubblicata dalla NASA, diversi autori hanno descritto il *Digital Twin* con termini propri e in base alla sua applicazione, definendolo come un modello virtuale [15, 16, 17, 18, 19, 20, 21], una controparte digitale [22, 23], un doppione [24], un clone [25] o una rappresentazione digitale [26, 27, 28].

Dopo che il *Digital Twin* ha trovato un utilizzo in settori oltre la produzione, si è iniziato ad applicarlo anche ad entità biologiche complesse come gli esseri umani e gli alberi [26, 29].

Il *Digital Twin* può svolgere compiti come:

- Analisi approfondita del gemello fisico
- Progettazione e convalida di prodotti/processi nuovi o esistenti
- Simulazione delle condizioni di salute del gemello fisico
- Miglioramento della sicurezza e dell'affidabilità del gemello fisico
- Ottimizzazione di parti, prodotti, processi o linee di produzione
- Monitoraggio dello stato del gemello fisico durante tutta la sua vita
- Previsione delle prestazioni del gemello fisico

Le definizioni di *Digital Twin* spesso trascurano la sua longevità; tuttavia, alcuni articoli considerano il *Digital Twin* come un modello "cradle-to-grave" (tradotto in italiano come "dalla culla alla tomba"), significando che può essere utilizzato per l'intero ciclo di vita del prodotto, dal momento dell'ideazione fino alla sua eliminazione [14, 16, 30, 31].

Alcuni articoli [32] suggeriscono anche che il *Digital Twin* può includere informazioni relative allo smaltimento del prodotto durante la fase di eliminazione. Inoltre, dopo che il prodotto è stato eliminato, il *Digital Twin* può aiutare nella progettazione e produzione della generazione successiva [33].

Il *Digital Twin* è diverso dai modelli informatici (CAD/CAE) e dalla simulazione. Anche se molte organizzazioni lo utilizzano sinonimo a modello 3D, un modello 3D è solo una parte del *Digital Twin* [30].

Il *Digital Twin* utilizza dati per riflettere il mondo reale in qualsiasi momento e quindi può essere utilizzato per osservare e comprendere le prestazioni del sistema e per la sua manutenzione predittiva [34].

1.1.3 Vantaggi e caratteristiche del Digital Twin

Dal momento in cui è stato introdotto per la prima volta, il *Digital Twin* ha guadagnato sempre più popolarità, con sempre più ricercatori che hanno iniziato a concentrare la propria ricerca su questo argomento (figura 1.3).

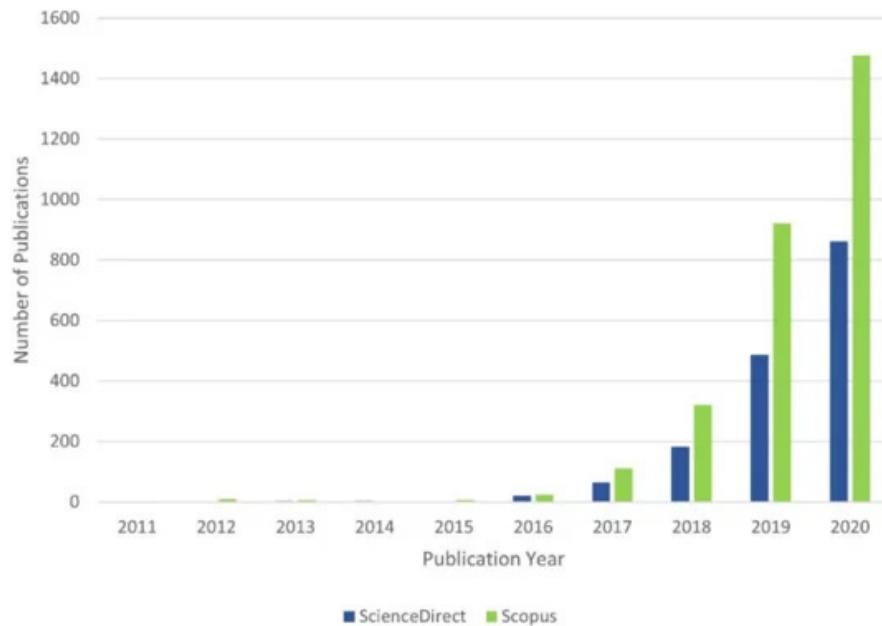


Figura 1.3: Trend di crescita sulla pubblicazioni del *Digital Twin* [35]

La crescente popolarità del *Digital Twin* è evidente dal fatto che è stato considerato come un argomento di tendenza nel campo tecnologico per tre anni consecutivi (2017-2019) da Gartner[36, 37, 38], una tecnologia futura nel campo aerospaziale e della difesa da Lockheed Martin [39] e una delle tecnologie definitorie del prossimo decennio da Forbes [40]

Vantaggi del Digital Twin

La principale ragione per cui la tecnologia *Digital Twin* è vista come la pietra angolare dell'Industria 4.0 risiede nella sua serie di vantaggi, che includono la riduzione di errori, incertezze, inefficienze e spese in qualsiasi sistema o processo. Inoltre, elimina tutti i comportamenti stagni nei processi o nelle organizzazioni che altrimenti operano in isolamento nelle strutture industriali più tradizionali. Alcuni dei vantaggi riportati per il *Digital Twin* includono:

- **Velocità** nella creazione e testing di un prototipo

Poiché le simulazioni consentono l'analisi di numerosi scenari, i cicli di progettazione e analisi si accorciano, rendendo l'intero processo di lavoro con i prototipi più facile e veloce. Una volta implementato, il *Digital Twin* può essere utilizzato in diverse fasi del processo di progettazione del prodotto, dalla concezione dell'idea del prodotto ai test [41]. Poiché il *Digital Twin* è collegato al suo gemello fisico per tutta la sua durata di testing, è possibile confrontare le prestazioni effettive e previste [42].

- **Economico**

Grazie al fatto che il *Digital Twin* coinvolge principalmente risorse virtuali per la sua creazione, il costo complessivo di prototipazione diminuisce nel tempo. Nella prototipazione tradizionale, il ridisegno di un prodotto è dispendioso in termini di tempo e costi a causa dell'uso di materiali fisici e manodopera. Inoltre, un test che fallisce significa la fine di quel costoso prototipo. Utilizzando il *Digital Twin*, i prodotti possono essere ricreati e sottoposti a test con alta probabilità di fallimento senza alcun costo aggiuntivo per i materiali. Quindi, assumendo che il costo sia uguale all'inizio, i costi fisici aumentano man mano che l'inflazione sale, ma i costi virtuali diminuiscono significativamente nel tempo [32]. Il *Digital Twin* consente il testing dei prodotti in diverse situazioni operative, comprese quelle distruttive, senza costi aggiuntivi.

vi. Inoltre può ridurre i costi operativi e prolungare la vita utile delle attrezzature e degli asset una volta implementato.

- Previsione dei problemi

Utilizzando il *Digital Twin*, possiamo prevedere i problemi e gli errori per gli stati futuri del prodotto effettivo. Grazie ai dati in tempo reale che fluiscono tra l'oggetto fisico e il suo gemello digitale è possibile prevedere problemi durante le diverse fasi del ciclo di vita del prodotto. Questo è particolarmente vantaggioso per la gestione di strutture complesse che sono composte da materiali multipli come aerei, veicoli, attrezzature di fabbrica, ecc., poiché all'aumentare della complessità di un prodotto, diventa più difficile prevedere i guasti dei componenti con metodi convenzionali [41].

- Accessibilità

Il dispositivo fisico può essere controllato e monitorato a distanza utilizzando il suo *Digital Twin*. A differenza dei sistemi fisici, che sono limitati dalla loro posizione geografica, i sistemi virtuali (come il *Digital Twin*) possono essere ampiamente condivisi e accessibili da remoto [32]. Il monitoraggio e il controllo a distanza di apparecchiature e sistemi diventano necessari in situazioni in cui l'accesso locale è limitato, come durante la pandemia di COVID-19 quando i governi hanno imposto blocchi e il lavoro a distanza o il contatto zero sono l'unica opzione praticabile [6].

- Sicurezza

In settori come il settore petrolifero o minerario dove le condizioni di lavoro sono estremamente pericolose, la capacità del *Digital Twin* di accedere da remoto al suo gemello fisico, così come la sua natura predittiva, può ridurre il rischio di incidenti e guasti pericolosi. Tuttavia, il vantaggio del *Digital Twin* nell'accesso remoto non si limita alla prevenzione degli incidenti. Secondo un sondaggio di Gartner, quasi un

terzo delle aziende ha utilizzato il *Digital Twin* durante la pandemia per aumentare la sicurezza dei dipendenti e dei clienti attraverso il monitoraggio a distanza [43].

- Riduzione dei rifiuti

Utilizzare il *Digital Twin* per simulare e testare prototipi di prodotti in un ambiente virtuale riduce significativamente lo spreco di materiali. I prototipi possono essere sondati e controllati virtualmente, sotto una varietà di scenari di test diversi, per finalizzare il design del prodotto finale prima della produzione. Ciò non solo risparmia lo spreco di materiali, ma riduce anche i costi di sviluppo e il tempo di commercializzazione.

- Formazione del personale

Il *Digital Twin* può essere utilizzato per sviluppare programmi di formazione sulla sicurezza più efficienti e illustrativi rispetto a quelli tradizionali [44]. Prima di operare in un ambiente ad alto rischio o su macchinari pericolosi, è possibile fornire agli operatori un addestramento attraverso l'utilizzo di un *Digital Twin* al fine di mitigare i rischi. L'istruzione relativa a vari processi o scenari li preparerà adeguatamente affinché possano affrontare in sicurezza situazioni simili di persona. Ad esempio, l'ambiente minerario è un ambiente ad alto rischio in cui i nuovi dipendenti possono essere addestrati utilizzando il *Digital Twin* sull'utilizzo dei macchinari e su come affrontare scenari di emergenza [45].

Caratteristiche del Digital Twin

A seconda del tipo di *Digital Twin*, può possedere proprietà distintive da altri, ma comunque tutti i *Digital Twin* condividono alcune caratteristiche comuni:

- Alta fedeltà

Un *Digital Twin* deve essere una copia quasi identica del suo gemello fisico in termini di aspetto, contenuti, funzionalità. Un modello digitale super realistico aiuta il *Digital Twin* a imitare ogni aspetto del suo gemello fisico. I modelli informatici ad alta fedeltà sono considerati il suo fondamento. Questo livello di dettaglio consente agli strumenti di simulazione e previsione di essere più affidabili quando presentati con un insieme di azioni o scenari alternativi [15].

- Dinamico

Siccome il piano fisico è un sistema dinamico (a differenza del piano virtuale) un *Digital Twin* deve cambiare di conseguenza. Questo viene raggiunto attraverso la connessione continua e lo scambio di informazioni tra il mondo fisico e virtuale. Lo scambio di dati può riguardare dati dinamici, dati statici storici e dati statici descrittivi [23]. L'obiettivo del *Digital Twin* è di riflettere il comportamento del prodotto nel mondo digitale in qualunque momento [30].

- Auto-evolutivo

Il *Digital Twin* si evolve insieme al suo gemello fisico durante l'intero ciclo di vita. Qualsiasi cambiamento sia nel *Digital Twin* che nel prodotto è riflesso nell'altro, creando un ciclo di feedback continuo [30]. Un *Digital Twin* è auto-adattante e auto-ottimizzante grazie ai dati raccolti dal gemello fisico in tempo reale, maturando quindi insieme al suo gemello fisico durante tutta la sua durata [23].

- Identificabile

Ogni componente deve avere il proprio *Digital Twin*. Durante diverse fasi del ciclo di vita del prodotto, i dati e le informazioni ad esso correlati si evolvono (inclusi modelli geometrici 3D, modelli di produzione, modelli di utilizzo, modelli funzionali, ecc ...). Grazie all'esistenza di tali modelli creati per il *Digital Twin*, esso può essere identificato univocamente dal suo gemello fisico o viceversa per l'intera durata del suo ciclo di vita [46].

- Gerarchico

La natura gerarchica del *Digital Twin* deriva dal fatto che i diversi componenti e parti che compongono il prodotto finale hanno il proprio modello *Digital Twin* corrispondente, ad esempio il *Digital Twin* di un aereo è composto da *Digital Twin* di una specifica componente, *Digital Twin* del sistema di controllo di volo, *Digital Twin* del sistema di propulsione, ecc. Pertanto, un *Digital Twin* può essere visto come una serie di sub-modelli integrati [19].

1.1.4 Categorie del Digital Twin

Il *Digital Twin* può essere categorizzato in base alle sue applicazione [32].

Le due principali applicazioni di un *Digital Twin* sono la previsione e l'interrogazione [32]. Un *Digital Twin* predittivo, come suggerisce il nome, prevede il comportamento e le prestazioni future del suo corrispettivo fisico, mentre un *Digital Twin* interrogativo è utilizzato per interrogare lo stato attuale o passato del suo corrispettivo fisico indipendentemente dalla sua posizione [47].

I *Digital Twin* possono anche essere suddivisi a seconda se l'attenzione dell'applicazione è sul prodotto, sul processo o sulle prestazioni [47]:

- *Digital Twin* di Prodotto

Viene utilizzato per la fase di gestione del prototipo poiché analizza il prodotto in diverse condizioni e si assicura che il successivo prodotto fisico si comporti come previsto. Questa fase può essere rapida in quanto il tempo di sviluppo complessivo viene ridotto e non è più necessario svilupparne molti.

- *Digital Twin* di Produzione

Viene utilizzato per convalidare i processi simulandoli e quindi analizzandoli anche prima della produzione effettiva. Ciò aiuta a sviluppare una metodologia di produzione efficiente in diverse condizioni. I dati provenienti dai *Digital Twin* di Prodotto e Produzione possono essere utilizzati insieme per il monitoraggio e la manutenzione delle macchine.

- *Digital Twin* di Prestazioni

Viene utilizzato per i processi decisionali catturando, aggregando e analizzando i dati provenienti da prodotti e impianti intelligenti. Poiché il *Digital Twin* di Prestazioni include le prestazioni sia del prodotto che della produzione, ottimizza le operazioni in base alla disponibilità delle risorse dell'impianto, creando un'opportunità per migliorare i *Digital Twin* di Produzione e Prodotto attraverso un ciclo di feedback.

1.1.5 Gerarchia del Digital Twin

Da una prospettiva gerarchica, i *Digital Twin* possono essere suddivisi anche in tre diversi livelli (figura 1.4), in base all'entità coinvolta nella produzione [46]:

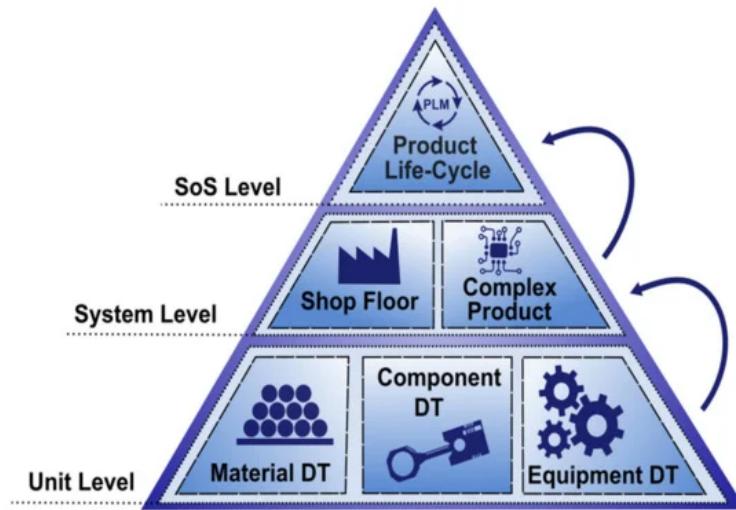


Figura 1.4: Gerarchia del Digital Twin

- **Livello di Unità (Unit level)**

È l'unità più piccola nella produzione e può essere un pezzo di attrezzatura, materiale o un fattore ambientale. Il *Digital Twin* a livello di unità si basa sul modello geometrico, funzionale, comportamentale e operativo del corrispettivo fisico.

- **Livello di Sistema (System level)**

È un'aggregazione di diversi *Digital Twin* di livello unità in un sistema di produzione (come per esempio una fabbrica). L'interconnettività e la collaborazione tra molteplici *Digital Twin* a livello di unità portano a un flusso più ampio di dati e a una migliore allocazione delle risorse. Un prodotto complesso, ad esempio un aereo, può essere considerato anche come *Digital Twin* a livello di sistema.

- Livello di Sistema di Sistemi (SoS level)

Un certo numero di *Digital Twin* di livello di sistema è collegato insieme per formarne uno a livello di SoS, che aiuta la collaborazione tra diverse aziende o tra diversi dipartimenti di un'azienda (come la catena di approvvigionamento, il design, il servizio, la manutenzione). In altre parole, il *Digital Twin* a livello di SoS integra diverse fasi del prodotto durante tutto il suo ciclo di vita.

1.1.6 Livello di Maturità/Sofisticazione

In base al livello di sofisticazione dei *Digital Twin*, ovvero alla quantità e alla qualità dei dati ottenuti dal gemello fisico e dal suo ambiente, i *Digital Twin* possono essere raggruppati in [48]:

- Digital Twin Parziale

Contiene un piccolo numero di punti dati, ad esempio pressione, temperatura, umidità, ecc., utili per determinare la connettività e la funzionalità del *Digital Twin*.

- Digital Twin Clone

Contiene tutti i dati significativi e rilevanti provenienti dal prodotto/-sistema che possono essere utilizzati per la creazione di prototipi e la categorizzazione delle fasi di sviluppo.

- Digital Twin Potenziato

Utilizza i dati del gemello fisico insieme ai suoi dati storici e elabora i dati utili utilizzando algoritmi e analisi.

I *Digital Twin* possono diventare più sofisticati e precisi con l'accumulo di insiemi di dati più ampi nel corso del tempo di funzionamento. Il livello di maturità dei *Digital Twin* non è limitato solo ai dati, ma comprende anche il livello di sofisticazione della rappresentazione/modello virtuale. Su questa base, i *Digital Twin* sono suddivisi in quattro livelli [34]:

1. Pre-Digital Twin

Questo è il livello 1, in cui il *Digital Twin* viene creato prima dell'asset fisico con lo scopo di prendere decisioni sul design del prototipo per ridurre qualsiasi rischio tecnico e risolvere anticipatamente i problemi utilizzando un modello di sistema generico.

2. Digital Twin

Il livello 2 incorpora i dati dell'asset fisico relativi alle sue prestazioni, salute e manutenzione. Il modello virtuale del sistema utilizza questi dati per assistere le decisioni ad alto livello nella progettazione e nello sviluppo dell'asset, insieme alla pianificazione della manutenzione. Il trasferimento dei dati a questo livello è bidirezionale.

3. Digital Twin Adattativo

Il livello 3 fornisce un'interfaccia utente adattiva tra l'asset fisico e il *Digital Twin* e ha la capacità di imparare dalle preferenze e dalle priorità degli operatori umani utilizzando il machine learning supervisionato. Utilizzando questo *Digital Twin*, è possibile la pianificazione e la presa di decisioni in tempo reale durante le operazioni.

4. Digital Twin Intelligente

Oltre alle caratteristiche del livello 3, il livello 4 ha la capacità di apprendimento automatico non supervisionato, rendendolo più autonomo rispetto al livello 3. Può riconoscere modelli nell'ambiente operativo e utilizzando questi dati insieme all'apprendimento rinforzato consente un'analisi più precisa ed efficiente del sistema.

1.2 Digital Thread

Proprio come il concetto di *Digital Twin*, il termine *Digital Thread* nasce dall'industria aerospaziale, dove è nato come parte integrante di un processo di ingegneria dei sistemi avanzato, mirato alla gestione completa e digitale di tutte le fasi coinvolte. Inizialmente concepito per tracciare e coordinare le varie fasi di progettazione, produzione e distribuzione di un sistema complesso, il *Digital Thread* si è rivelato fondamentale per la sincronizzazione di dati e informazioni lungo l'intero ciclo di vita del prodotto [49].

Questo contesto pionieristico nell'industria aerospaziale ha visto il *Digital Thread* come una rete intricata di molteplici dati, dai modelli CAD 3D alle strategie di produzione, dai dettagli logistici ai processi di assemblaggio [50].

Una delle sue caratteristiche principali è la capacità di fornire un flusso ininterrotto di informazioni, garantendole disponibili sempre disponibili a richiesta (figura 1.5). Rispetto al *Digital Twin*, che funge da gemello virtuale in tempo reale di un oggetto fisico, il *Digital Thread* agisce come una traccia storica, una sorta di cronologia digitale che registra e conserva ogni tappa e aspetto del ciclo di vita dell'oggetto fisico [51].

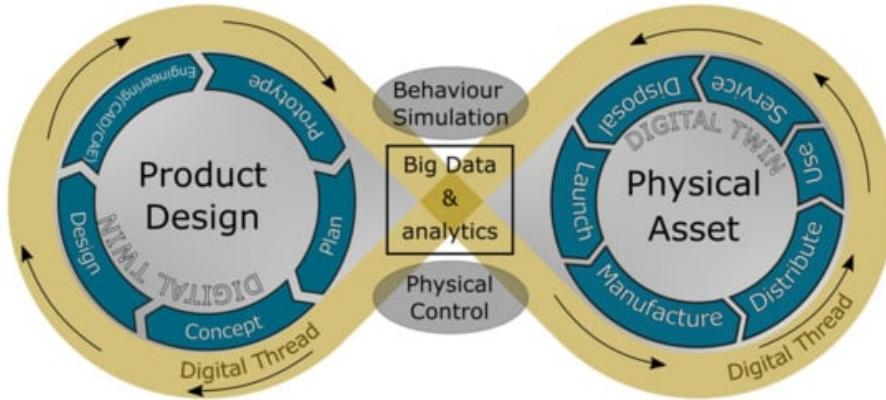


Figura 1.5: Esempio funzionamento del *Digital Thread* [51]

Il *Digital Thread* è uno dei fondamenti su cui si basa l’Industria 4.0. La convergenza di principi come l’*Internet of Things* (IoT) – che consente ai dispositivi di raccogliere e scambiare dati –, la virtualizzazione, la decentralizzazione delle decisioni e la capacità di analizzare dati in tempo reale costituiscono esempi in cui viene altamente adottato l’intero concetto di *Digital Thread* [49].

1.2.1 Vantaggi e Applicazioni

L’implementazione del concetto del *Digital Thread* ha dimostrato di portare molti benefici in diversi settori [52]. La tracciabilità completa e digitale dei dati lungo l’intero ciclo di vita del prodotto ha un impatto significativo sull’efficienza operativa, sulla riduzione degli errori, sull’accelerazione dei tempi di produzione e sulla possibilità di offrire personalizzazione su larga scala [49].

- Miglioramento dell’Efficienza Operativa

La capacità di tracciare ogni fase di un prodotto attraverso il *Digital Thread* consente un controllo più rigoroso e una gestione ottimizzata dei processi. Ciò si traduce in una maggiore efficienza nella pianificazione e nell’esecuzione delle attività di produzione. Ad esempio, le aziende manifatturiere possono monitorare in tempo reale l’utilizzo delle risorse, identificando aree di sovrautilizzo o sottoutilizzo e apportando correzioni tempestive.

- Riduzione degli errori

L’automazione del flusso di dati all’interno del *Digital Thread* riduce significativamente il rischio di errori umani. Gli errori di trascrizione e di comunicazione vengono minimizzati poiché le informazioni vengono trasferite e condivise in modo accurato e coerente tra le diverse fasi del processo produttivo. Questo aspetto è particolarmente rilevante in settori ad alta precisione, come l’industria medica, dove anche un piccolo errore potrebbe avere conseguenze significative.

- Accelerazione dei tempi di produzione

La collaborazione e l'accesso in tempo reale alle informazioni attraverso il *Digital Thread* consentono una pianificazione più agile e una riduzione dei tempi di attesa. La condivisione istantanea di dati tra diversi reparti, fornitori e partner durante la produzione accelera il processo decisionale e riduce i ritardi.

- Personalizzazione su larga scala

Uno dei vantaggi distintivi del *Digital Thread* è la sua capacità di consentire la personalizzazione su larga scala. La tracciabilità digitale delle specifiche del prodotto e delle preferenze dei clienti consente la progettazione e la produzione di prodotti altamente personalizzati, senza sacrificare l'efficienza. Ad esempio, nell'industria dell'abbigliamento, le aziende possono creare capi su misura basati sui dati delle misurazioni dei clienti.

- Applicazioni in diversi settori

Oltre all'industria aerospaziale, il concetto di *Digital Thread* ha trovato applicazione in diverse altre industrie. Nel settore energetico, la gestione digitale delle risorse permette un monitoraggio continuo delle prestazioni e una manutenzione preventiva più efficace. Nell'industria alimentare, il *Digital Thread* può tracciare l'intera filiera di produzione, aumentando la trasparenza e la sicurezza alimentare. Anche l'industria farmaceutica beneficia della tracciabilità digitale per garantire la conformità normativa e la sicurezza dei prodotti [53].

1.3 Digital shadow

Nell'era contemporanea, il termine *Digital Shadow* è emerso come un concetto che riflette l'impatto delle attività online sulla creazione di una sorta di "ombra digitale". Questo fenomeno rappresenta il riflesso virtuale delle azioni, delle interazioni e delle informazioni che lasciamo dietro di noi mentre interagiamo con il mondo digitale [54].

1.3.1 Definizione

Il *Digital Shadow* rappresenta il complesso aggregato di dati, tracce digitali e informazioni personali che lasciamo involontariamente o volontariamente durante le nostre attività online. Questo spazia dalle ricerche su motori di ricerca, alle interazioni sui social media, agli acquisti online, alle conversazioni tramite e-mail e molto altro ancora. In altre parole, è la traccia virtuale che si forma attraverso le azioni nell'ambiente digitale. Questi dati vengono quindi utilizzati per profilare gli utenti, personalizzare le esperienze digitali e, in alcuni casi, per fini pubblicitari e di marketing [54].

1.3.2 Vantaggi del *Digital Shadow*

Il *Digital Shadow* ha portato a molteplici sviluppi positivi nella società moderna [54]:

- Personalizzazione delle esperienze

Grazie al *Digital Shadow*, le piattaforme possono offrire contenuti e servizi personalizzati, adattati alle preferenze individuali, migliorando così l'esperienza dell'utente.

- Avanzamenti tecnologici

L'analisi dei dati del *Digital Shadow* ha contribuito alla creazione di algoritmi di intelligenza artificiale e di apprendimento automatico, che guidano l'innovazione in vari settori, come la medicina, l'automazione industriale e altro ancora.

- Ricerca e innovazione

Gli scienziati e i ricercatori possono utilizzare dati anonimi del *Digital Shadow* per ottenere informazioni preziose sui modelli di comportamento e sulle tendenze sociali, facilitando così la ricerca e l'innovazione [55].

1.3.3 Preoccupazioni del *Digital Shadow*

Tuttavia, il concetto di *Digital Shadow* suscita anche preoccupazioni significative, tra cui:

- Privacy

La raccolta e l'archiviazione dei dati del *Digital Shadow* sollevano interrogativi sulla privacy individuale. La condivisione non autorizzata di informazioni personali può portare a violazioni della privacy e all'abuso delle informazioni sensibili.

- Rischio di utilizzo malevolo

I dati del *Digital Shadow* possono essere vulnerabili agli attacchi informatici e all'uso malevolo da parte di attori maligni, mettendo a rischio la sicurezza delle informazioni personali.

1.3.4 Economia dei dati

L'accumulo di dati nel *Digital Shadow* ha innescato una rivoluzione nell'economia dei dati, trasformando radicalmente la dinamica aziendale e le strategie di mercato. Aziende di tutte le dimensioni stanno riconoscendo il valore inestimabile dei dati e il potenziale che essi offrono per comprendere meglio i consumatori e anticipare le tendenze di mercato [54, 56].

Questo nuovo paradigma ha visto la nascita di un'industria incentrata sulla raccolta, l'elaborazione e lo sfruttamento dei dati del *Digital Shadow*. Le aziende investono ingenti risorse per sviluppare algoritmi sofisticati e sistemi

di analisi dei dati che possono estrapolare conoscenze preziose dai comportamenti e dalle preferenze degli utenti. Questi dati sono poi venduti a inserzionisti, aziende di marketing e altre organizzazioni che cercano di perfezionare le proprie strategie di promozione.

In questo contesto, i dati sono diventati una vera e propria moneta di scambio. Le aziende possono acquisire vantaggi competitivi attraverso l'accesso a dati accurati e approfonditi sulle abitudini dei consumatori. Tuttavia, questa crescente dipendenza dai dati ha sollevato interrogativi sulla trasparenza e sulla giustizia dell'acquisizione e della monetizzazione di tali informazioni [56, 57].

1.3.5 Etica e regolamentazione del *Digital Shadow*

L'espansione incontrollata del *Digital Shadow* ha innescato una serie di sfide etiche e legali che richiedono una risposta ponderata e regolamentazioni adeguate. La rapida raccolta e condivisione di dati sensibili ha sollevato interrogativi fondamentali sulla privacy individuale e sulla sovranità dei dati personali [56, 57, 58].

L'equilibrio tra l'innovazione tecnologica e la protezione della privacy è al centro del dibattito pubblico e politico [57, 58]. I governi stanno lavorando per introdurre normative che regolamentino la raccolta e l'uso dei dati personali, garantendo il consenso informato degli individui e stabilendo sanzioni per violazioni ed abusi [59]. Tuttavia, trovare il giusto equilibrio tra il potenziale beneficio dell'analisi dei dati e la salvaguardia della privacy è un compito complesso.

Capitolo 2

Tecnologie usate

Il secondo capitolo è dedicato alla presentazione delle diverse tecnologie impiegate, fornendo una base solida per la comprensione dell’ambiente tecnologico nel quale il progetto è stato realizzato.

2.1 HTML

”HyperText Markup Language”, comunemente abbreviato come HTML, è un linguaggio di markup utilizzato per creare e strutturare il contenuto delle pagine web. HTML è uno dei mattoni fondamentali su cui si basa il World Wide Web ed è ampiamente utilizzato per definire la struttura e l’organizzazione dei contenuti all’interno di una pagina web [60, 61].

HTML opera attraverso l’uso di elementi e tag. Ogni elemento è rappresentato da un tag che definisce il tipo di contenuto che conterrà. Ad esempio, il tag `<h1>` indica un’intestazione di primo livello, mentre il tag `<p>` rappresenta un paragrafo di testo. La corretta scelta dei tag è essenziale per garantire la semantica e l’accessibilità del contenuto [61].

Gli elementi HTML possono essere nidificati all’interno di altri elementi, creando una struttura gerarchica. Questa struttura permette di organizzare i contenuti in modo logico e ordinato. Ad esempio, è possibile includere un

paragrafo all'interno di un'area specifica di una pagina, come un'intestazione o un più di pagina.

HTML è stato sviluppato con l'obiettivo di fornire una struttura semantica per il contenuto web. L'utilizzo corretto dei tag non solo aiuta i motori di ricerca a comprendere meglio il contenuto, ma è anche fondamentale per migliorare l'accessibilità del sito. L'aggiunta di attributi come alt per le immagini o l'utilizzo di tag di intestazione in modo appropriato può rendere il contenuto accessibile anche a persone con disabilità.

In conclusione, l'HTML rappresenta il fondamento su cui si basa gran parte del World Wide Web. La sua capacità di strutturare e organizzare il contenuto in modo logico e significativo è essenziale per la creazione di pagine web funzionali e accessibili [60].

2.2 CSS

I "Cascading Style Sheets", comunemente noti come CSS, sono un linguaggio utilizzato per definire l'aspetto e la presentazione dei documenti HTML. CSS separa la struttura e il contenuto di una pagina web dalla sua formattazione visiva, consentendo agli sviluppatori di creare layout accattivanti e coerenti su diverse pagine [61].

Una delle caratteristiche principali di CSS è la sua capacità di separare i contenuti dalla presentazione. Questo significa che il contenuto di una pagina web, definito tramite HTML, può essere stilizzato e formattato in modo indipendente tramite il CSS. Questa separazione favorisce la manutenibilità, in quanto le modifiche visive possono essere apportate senza dover riscrivere il contenuto stesso [61, 62].

CSS utilizza il concetto di "cascata" per applicare stili ai vari elementi della pagina. Quando più regole vanno in conflitto per lo stesso elemento, viene utilizzata la selettività per determinare quale regola avrà la priorità. Inoltre, gli stili possono essere ereditati dagli elementi genitori agli

elementi figli, semplificando l'applicazione coerente di stili a diverse parti del documento [62].

CSS è essenziale per creare layout responsivi, che si adattano automaticamente alle diverse dimensioni dello schermo utilizzando tecniche come le "media query" che permettono di creare layout diversi in base alla dimensione dello schermo.

CSS offre la possibilità di creare animazioni e transizioni. Gli sviluppatori possono definire cambiamenti di stile gradualmente nel tempo, creando effetti di transizione fluidi e dinamici. Inoltre, le trasformazioni CSS consentono di modificare la posizione, la rotazione e la scala degli elementi, aggiungendo un tocco di dinamicità alla presentazione.

In conclusione, i Cascading Style Sheets sono uno strumento essenziale per definire l'aspetto visivo delle pagine web. La loro capacità di separare i contenuti dalla presentazione, insieme alla flessibilità nella definizione di layout, colori, tipografia e animazioni, ha contribuito a creare esperienze web coinvolgenti e coerenti. CSS è un pilastro fondamentale nello sviluppo di pagine web moderne e accessibili.

2.3 Javascript

Javascript è un linguaggio di programmazione ampiamente utilizzato per aggiungere interattività e dinamicità alle pagine web. È comunemente usato per gestire eventi, manipolare il contenuto della pagina in risposta all'input dell'utente e comunicare con i server per ottenere o inviare dati in background [62, 63].

Uno dei punti di forza di Javascript è la sua capacità di gestire gli eventi generati dagli utenti, come clic del mouse, pressioni di tasti e scorrimento. Questa interazione permette di creare esperienze web fluide e coinvolgenti, migliorando l'usabilità e l'interazione con i visitatori del sito [63].

Il "Document Object Model" (DOM) rappresenta la struttura gerarchica degli elementi HTML all'interno di una pagina. Javascript consente di

manipolare il DOM, aggiungendo, rimuovendo o modificando elementi in tempo reale. Questa manipolazione dinamica permette di creare contenuti interattivi senza dover ricaricare l'intera pagina [62, 63].

2.3.1 AJAX

Javascript è spesso utilizzato per effettuare richieste asincrone al server attraverso la tecnica conosciuta come "Asynchronous Javascript and XML" (AJAX). Questa tecnica consente di aggiornare parti specifiche di una pagina senza dover ricaricare l'intera pagina, migliorando la velocità e l'efficienza dell'esperienza utente [62].

2.3.2 Framework e librerie

Nel corso degli anni, sono stati sviluppati numerosi framework e librerie Javascript per semplificare e accelerare lo sviluppo web. Alcuni esempi includono Angular, React.js e Vue.js. Queste librerie offrono strumenti per creare interfacce utente complesse e gestire lo stato dell'applicazione in maniera più efficiente.

2.4 Leaflet

Leaflet è una libreria Javascript open-source utilizzata per creare mappe interattive e integrate nelle applicazioni web [64]. È progettata per essere leggera, flessibile e facile da utilizzare, consentendo agli sviluppatori di aggiungere funzionalità di mappatura ai loro progetti senza un carico eccessivo.

2.4.1 Caratteristiche principali

Leaflet offre numerose funzionalità che la rendono una scelta popolare per la creazione di mappe interattive:

- Mappatura Interattiva

Permette agli sviluppatori di creare mappe interattive con zoom, panoramica e altri tipi di controlli.

- Layer Multipli

Consente di sovrapporre diversi tipi di dati sulla mappa, come marcatori, linee e poligoni.

- Supporto per Dati Geospaziali

Può visualizzare dati geospaziali provenienti da diverse fonti (come GeoJSON [65], GPX [66] e KML [67]).

2.5 Vue.js

Vue.js è un framework Javascript open-source che facilita la creazione di interfacce utente interattive e complesse. Si basa sul modello "Model-View-ViewModel" (MVVM) e offre strumenti per la gestione dello stato dell'applicazione e la creazione di componenti riutilizzabili [?].

Una delle caratteristiche chiave di Vue.js è la sua architettura orientata ai componenti. L'interfaccia utente viene scomposta in componenti autonomi, ciascuno dei quali può avere il proprio stato, logica e template. Questa struttura favorisce la modularità e la riusabilità del codice.

Vue.js offre un sistema di two-way data binding, che collega automaticamente i dati del modello (lo stato dell'applicazione) alla vista (l'interfaccia utente). Ciò significa che le modifiche nello stato vengono riflesse automaticamente nell'interfaccia utente e viceversa, semplificando la sincronizzazione tra dati e visualizzazione.

Vue.js semplifica la gestione degli eventi, consentendo di associare metodi definiti nell’istanza Vue.js a eventi specifici. Questo permette di catturare l’interazione dell’utente e reagire ad essa in modo appropriato, aggiornando lo stato o eseguendo azioni specifiche.

Vue.js supporta anche il rendering lato server (SSR), che consente di generare il markup HTML direttamente sul server prima che venga consegnato al browser. Questa tecnica può migliorare le prestazioni iniziali e l’indicizzazione del contenuto da parte dei motori di ricerca.

Vue.js è sostenuto da una vivace comunità di sviluppatori che contribuiscono con componenti, plugin e risorse educative. La cura del framework e la sua attiva evoluzione lo hanno reso una scelta popolare per lo sviluppo di applicazioni web moderne.

2.5.1 Libreria VueLeaflet

VueLeaflet è una libreria open-source che integra la potenza di Leaflet con il framework Javascript Vue.js. Questa libreria consente agli sviluppatori di creare mappe interattive in applicazioni Vue.js in modo semplice e integrato.

Funzionalità Chiave

VueLeaflet offre diverse caratteristiche che semplificano l’integrazione di mappe in applicazioni Vue.js:

- Componenti Vue.js

Le mappe e gli elementi di Leaflet possono essere trattati come componenti Vue.js, consentendo l’utilizzo di dati reattivi.

- Integrazione Diretta

La libreria si integra facilmente con i componenti Vue.js esistenti.

- Personalizzazione

Può essere personalizzata attraverso le opzioni di configurazione, consentendo di controllare l’aspetto e il comportamento delle mappe.

- Eventi Vue.js

Gli eventi di Leaflet possono essere mappati agli eventi Vue.js, consentendo l'interazione tra le mappe e altri componenti.

2.6 NPM

Il Node Package Manager, abbreviato come NPM, è un gestore di pacchetti per l'ecosistema Javascript [68]. È utilizzato principalmente in ambienti di sviluppo Node.js per la gestione e la distribuzione di librerie, moduli e risorse necessarie per la creazione di applicazioni web e server-side [69].

NPM consente agli sviluppatori di definire e gestire facilmente le dipendenze dei progetti Javascript. Attraverso un file proprietario è possibile elencare tutte le librerie esterne necessarie per il progetto, specificandone le versioni compatibili. Questo assicura che tutti i membri del team utilizzino le stesse versioni delle librerie e semplifica la collaborazione.

Oltre alla gestione delle dipendenze, NPM consente agli sviluppatori di definire comandi personalizzati. Questi comandi, chiamati "NPM scripts", possono essere utilizzati per eseguire attività come il build, il testing e l'avvio dell'applicazione. Questa funzionalità semplifica l'automazione di diverse operazioni di sviluppo.

Grazie a NPM, gli sviluppatori possono anche pubblicare i loro pacchetti e librerie per essere utilizzati da altri. Questa condivisione promuove la collaborazione e la condivisione di risorse all'interno della comunità di sviluppatori.

NPM supporta anche la gestione di progetti monorepo, in cui più pacchetti sono contenuti all'interno di un unico repository. Questo approccio semplifica la condivisione di codice tra diverse parti di un'applicazione e consente di gestire meglio le dipendenze condivise.

NPM offre strumenti per la gestione della sicurezza delle dipendenze, permettendo agli sviluppatori di rilevare vulnerabilità note nei pacchetti installati e di ricevere avvisi e aggiornamenti sulle possibili minacce.

2.7 PHP

PHP è un linguaggio di programmazione server-side ampiamente utilizzato per lo sviluppo di applicazioni web dinamiche e interattive. Una delle caratteristiche distintive di PHP è la sua capacità di generare HTML dinamicamente, consentendo la creazione di pagine web che possono interagire con gli utenti e con i dati nel server [62, 70].

Una delle principali ragioni per cui PHP è popolare nello sviluppo web è la sua integrazione nativa nel markup HTML. All'interno di un file HTML, è possibile includere del codice PHP, consentendo di mescolare codice PHP e HTML all'interno della stessa pagina.

PHP viene eseguito lato server, il che significa che il codice PHP è eseguito sul server web prima di inviare il risultato al browser dell'utente. Questo consente di elaborare dati e generare contenuti dinamici prima che raggiungano l'utente, migliorando la velocità e l'efficienza del sito.

PHP offre strumenti potenti per la manipolazione dei dati. È possibile interagire con database, leggere e scrivere file, elaborare dati di form e gestire cookie e sessioni. Queste capacità rendono PHP un'opzione versatile per la creazione di applicazioni web che richiedono l'interazione con il database e la gestione degli utenti.

Sebbene PHP abbia iniziato come un linguaggio adatto a script semplici, con il passare degli anni è stato potenziato per gestire applicazioni web complesse. Tuttavia, la sua architettura tradizionale basata su richieste può portare a sfide di performance in applicazioni ad alto traffico. È importante considerare strategie di caching e ottimizzazione quando si sviluppano applicazioni PHP scalabili.

La sicurezza è un aspetto cruciale nello sviluppo PHP. A causa delle sue radici come linguaggio per il web, PHP è spesso soggetto a vulnerabilità come le iniezioni SQL [71, 72] o le vulnerabilità di cross-site scripting (XSS) [73]. È essenziale adottare buone pratiche di sicurezza, come la validazione dei dati di input e l'uso di parametri preparati nelle query al database.

PHP continua a evolversi grazie agli sforzi della community e alle versioni successive del linguaggio. Nuove funzionalità e miglioramenti sono introdotti regolarmente, mantenendo PHP rilevante e adatto allo sviluppo di applicazioni web moderne.

2.8 API

Un' *Application Programming Interface* (API) è un insieme di definizioni e protocolli che consentono a diversi software di comunicare tra loro. Le API fungono da intermediari, consentendo a diverse applicazioni di scambiare dati e funzionalità in modo standardizzato e strutturato [74].

Le API consentono a diverse applicazioni o servizi di interagire tra loro, scambiando dati, richieste e risposte. Una API può fornire accesso a funzionalità specifiche dell'applicazione senza dover condividere l'intero codice sorgente. Questo favorisce la modularità e la collaborazione tra diversi team di sviluppo.

2.8.1 Tipi di API

Le API generalmente possono essere classificate in 3 diverse categorie:

- Web API

Consentono alle applicazioni di interagire tramite il protocollo HTTP, come RESTful APIs [75].

- Librerie di API

Forniscono un insieme di funzioni e metodi che le applicazioni possono utilizzare come parte di una libreria o framework [76].

- API di Sistema Operativo

Consentono alle applicazioni di interagire con il sistema operativo sottostante per accedere a risorse come file, processi e altro [77].

2.8.2 RESTful APIs

Le *Representational State Transfer* (RESTful) APIs sono un tipo comune di API Web che seguono i principi dell'architettura REST. Utilizzano i metodi HTTP (GET, POST, PUT, DELETE) per gestire le operazioni CRUD (Create, Read, Update, Delete) sui dati. Le RESTful APIs utilizzano URL e risposte in formato JSON o XML [62, 78, 79].

2.8.3 Uso delle API

Le API sono utilizzate in una varietà di scenari [80]:

- **Integrazione**

Le applicazioni possono integrare funzionalità di terze parti, come le API di pagamento o le API di social media.

- **Automazione**

Le API consentono l'automazione di processi attraverso l'interazione programmata con servizi esterni.

- **Accesso ai dati**

Le API possono fornire accesso a dati esterni, come le API che restituiscono dati meteorologici o finanziari.

- **Sviluppo di plugin**

Le API consentono a sviluppatori esterni di creare plugin o estensioni per applicazioni esistenti.

2.8.4 Documentazione

Una buona documentazione delle API è essenziale per consentire agli sviluppatori di utilizzarle correttamente. La documentazione dovrebbe includere informazioni dettagliate su come autenticarsi, quali endpoint utilizzare e quali parametri passare.

2.8.5 Evoluzione delle API

Le API possono evolvere nel tempo, il che può causare sfide di retrocompatibilità. Esse dovrebbero consentire agli sviluppatori di continuare a utilizzare versioni precedenti fino a quando sono pronti per aggiornarsi alla versione successiva.

2.9 JSON

JSON, acronimo di Javascript Object Notation, è un formato leggero di scambio di dati utilizzato per rappresentare oggetti e dati strutturati in modo semplice e leggibile. Sebbene sia strettamente associato a Javascript (attraverso l'utilizzo di AJAX), JSON è diventato uno standard universale utilizzato in una varietà di linguaggi di programmazione [65, 81, 82].

JSON utilizza una sintassi chiara e minimale. Gli oggetti vengono rappresentati come coppie chiave-valore, mentre gli array sono elenchi ordinati di valori. Questa struttura è facilmente leggibile dagli esseri umani e di facile elaborazione per le macchine.

Esso è diventato lo standard per lo scambio di dati tra client e server nelle applicazioni web. Molte API restituiscono dati in formato JSON, consentendo alle applicazioni di comunicare in modo efficiente attraverso il web.

JSON supporta la struttura gerarchica e la nidificazione. Gli oggetti possono contenere altri oggetti o array, consentendo la rappresentazione di dati complessi. Questa struttura rende JSON adatto per rappresentare dati strutturati e organizzati in modo logico.

JSON deve seguire una sintassi specifica per essere valido. Gli errori di formattazione possono impedire il corretto parsing dei dati. Fortunatamente, molti linguaggi di programmazione offrono strumenti incorporati per il parsing e la generazione di JSON corretti.

JSON negli anni è diventato uno standard ubiquo per la rappresentazione di dati strutturati. La sua semplicità, leggibilità, compattezza e adozione

generalizzata lo rendono un formato ideale per lo scambio di dati tra applicazioni, sia nell'ambiente web che in altri contesti di sviluppo. La sua capacità di rappresentare oggetti complessi in modo chiaro e strutturato ha contribuito a semplificare la comunicazione e l'interscambio di informazioni tra sistemi software.

2.10 XML

L' *eXtensible Markup Language*, comunemente noto come XML, è un linguaggio di markup utilizzato per rappresentare dati strutturati in un formato leggibile sia per gli esseri umani che per le macchine. XML è progettato per consentire la creazione di tag personalizzati e definire la struttura gerarchica dei dati.

XML è organizzato gerarchicamente attraverso l'utilizzo di tag e elementi. Ogni elemento è racchiuso tra tag di apertura e chiusura. Gli elementi possono essere nidificati per creare una struttura a albero che riflette la relazione tra i dati.

Una delle caratteristiche chiave di XML è la sua versatilità. Gli sviluppatori possono definire i propri tag personalizzati e strutturare i dati in base alle esigenze specifiche dell'applicazione. Questa flessibilità consente di rappresentare una vasta gamma di tipi di dati e informazioni.

XML viene utilizzato in una varietà di contesti, tra cui configurazioni di software, scambio di dati tra applicazioni e rappresentazione di informazioni complesse. Ad esempio, i file di configurazione di molti programmi sono spesso scritti in XML per consentire la personalizzazione delle impostazioni [82, 83].

XML è spesso utilizzato insieme ad altre tecnologie come XSLT (eXtensible Stylesheet Language Transformations) per trasformare i dati XML in formati diversi [84], e XPath per navigare e selezionare parti specifiche dei documenti XML [85].

2.10.1 JSON contro XML

Negli ultimi anni, JSON (Javascript Object Notation) ha guadagnato popolarità come formato per lo scambio di dati. JSON è noto per essere più compatto e facilmente leggibile dalle macchine rispetto a XML. Tuttavia, XML è ancora ampiamente utilizzato in scenari che richiedono una struttura più flessibile o l'uso di metadati più avanzati [82].

2.11 SQL

Structured Query Language (SQL) è un linguaggio di programmazione utilizzato per gestire e manipolare database relazionali. SQL offre un insieme di comandi standardizzati che consentono di creare, modificare, interrogare e gestire dati in tabelle strutturate.

SQL è basato su una struttura di dati relazionali, in cui i dati sono organizzati in tabelle con righe e colonne. Le tabelle rappresentano entità e relazioni nel mondo reale, e SQL offre un modo per definire schemi, inserire dati, modificarli e recuperarli [62].

2.11.1 Normalizzazione dei dati

La normalizzazione è una pratica di progettazione dei database che mira a ridurre la duplicazione dei dati e migliorare l'efficienza delle interrogazioni. Attraverso la normalizzazione, i dati sono suddivisi in tabelle separate per minimizzare la ridondanza e massimizzare l'integrità [86].

L'ottimizzazione delle interrogazioni è un aspetto critico nella gestione dei database. Gli sviluppatori devono scrivere query efficienti, utilizzare indici adeguati e considerare le prestazioni durante la progettazione del database per garantire tempi di risposta rapidi.

La sicurezza dei dati è fondamentale in SQL. È importante utilizzare pratiche di sicurezza come preparare i parametri prima di passarglieli per

prevenire le iniezioni SQL, limitare i privilegi di accesso e crittografare i dati sensibili.

2.12 XAMPP

XAMPP è un pacchetto di software gratuito e open-source che fornisce un ambiente di sviluppo completo per la creazione di applicazioni web localmente. L'acronimo XAMPP sta per "Cross-Platform (X), Apache (A), MySQL (M), PHP (P), Perl (P)", che sono i componenti principali che costituiscono il pacchetto [87].

2.12.1 Componenti di XAMPP

XAMPP include diversi componenti chiave:

- Apache

Un server web open-source che permette di ospitare e distribuire siti web.

- MySQL

Un sistema di gestione di database relazionali (DBMS) per l'archiviazione e la gestione dei dati.

- PHP

Un linguaggio di scripting server-side ampiamente utilizzato per creare applicazioni web dinamiche.

- Perl

Un linguaggio di programmazione utilizzato per l'automazione di azioni e la creazione di script.

- phpMyAdmin

Un'applicazione web che semplifica la gestione dei database MySQL attraverso un'interfaccia grafica.

XAMPP consente agli sviluppatori di creare un ambiente di sviluppo web sul proprio computer, eliminando la necessità di un server web esterno. Questo ambiente locale è ideale per lo sviluppo, il test e la risoluzione dei problemi delle applicazioni web prima di renderle pubbliche [62, 87].

2.12.2 Configurazione e gestione

XAMPP semplifica la configurazione dei componenti del server, consentendo agli sviluppatori di avviare e arrestare Apache, MySQL e altri servizi con poche azioni. Anche la configurazione delle impostazioni di PHP e MySQL può essere gestita attraverso l'interfaccia grafica di XAMPP.

2.12.3 Testing e sicurezza

XAMPP è particolarmente utile per sviluppatori e per i team che lavorano su progetti web. Fornisce un ambiente controllato in cui è possibile testare applicazioni, verificare la compatibilità tra componenti e risolvere i problemi senza dover pubblicare costantemente su un server esterno.

Tuttavia, è importante tenere presente che XAMPP è pensato principalmente per l'uso in ambienti di sviluppo e test. Non è ottimizzato per la sicurezza in un ambiente di produzione e non è raccomandato eseguirlo su un server accessibile pubblicamente.

2.13 MySQL

MySQL è un sistema di gestione di database relazionali (DBMS) open-source ampiamente utilizzato per archiviare, gestire e recuperare dati. È una scelta popolare sia per applicazioni web che per applicazioni di business grazie alla sua affidabilità, scalabilità e funzionalità avanzate [62, 87].

2.13.1 Struttura dei Dati Relazionali

MySQL si basa su una struttura dati relazionale in cui i dati sono organizzati in tabelle con righe e colonne. Questo approccio permette di rappresentare e gestire dati complessi in modo strutturato, permettendo la creazione di relazioni tra tabelle.

MySQL offre molte caratteristiche importanti:

- Affidabilità

È noto per la sua stabilità e robustezza, rendendolo adatto a scenari di produzione critici.

- Performance

MySQL è ottimizzato per ottenere alte prestazioni in situazioni ad alto carico.

- Scalabilità

È possibile scalare MySQL attraverso la distribuzione di server multipli o l'uso di tecnologie di replica.

- Gestione dei dati

Supporta varie operazioni di gestione dei dati come l'indicizzazione, le transazioni e le viste.

- Sicurezza

Offre meccanismi di autenticazione e autorizzazione per proteggere i dati.

2.13.2 Uso nelle Applicazioni Web

MySQL è ampiamente utilizzato nelle applicazioni web per la gestione di dati di back-end. Molti framework e CMS (Content Management System) supportano MySQL come database predefinito.

2.14 Apache HTTP Server

Apache HTTP Server, spesso indicato semplicemente come Apache, è un server web open-source ampiamente utilizzato per ospitare siti web e distribuire contenuti su Internet [87, 88].

Apache offre numerose funzionalità che lo rendono una scelta affidabile per l'hosting di siti web [88]:

- Server Web

Apache è progettato per servire sia pagine web statiche che dinamiche agli utenti attraverso il protocollo HTTP.

- Virtual Hosting

Supporta la creazione di più siti web su un singolo server attraverso l'utilizzo di virtual hosts.

- Modularità

Apache è altamente modulare, consentendo agli amministratori di attivare solo i moduli necessari per soddisfare le esigenze specifiche del server.

- Autenticazione e Autorizzazione

Apache offre meccanismi per controllare l'accesso alle risorse web attraverso l'autenticazione e l'autorizzazione.

- Reverse Proxy

Può essere configurato come reverse proxy per indirizzare le richieste in arrivo a server back-end.

La configurazione di Apache avviene attraverso file di configurazione, tipicamente denominati *httpd.conf* o *apache2.conf*. Questi file contengono direttive che definiscono il comportamento del server, come i percorsi delle risorse, le opzioni di sicurezza e le regole di rewriting [87, 88].

2.15 Git

Git è un sistema di controllo delle versioni distribuito open-source che consente agli sviluppatori di tenere traccia delle modifiche apportate al codice sorgente di un progetto nel tempo [89, 90].

È ampiamente utilizzato per il coordinamento del lavoro di squadra, la gestione delle modifiche e il mantenimento della storia delle versioni di un progetto software.

Git si basa su alcuni concetti fondamentali:

- Repository

È la collezione di tutti i file e la loro storia associata. I repository possono essere locali o remoti.

- Commit

Rappresenta una singola versione del codice sorgente all'interno del repository. I commit tengono traccia delle modifiche apportate.

- Branch

È un ramo separato all'interno di un repository che può contenere modifiche indipendenti. È utilizzato per sviluppare nuove funzionalità senza influenzare il ramo principale.

- Merge

È il processo di combinazione delle modifiche apportate in un ramo con un altro. Viene spesso utilizzato per integrare le modifiche di un ramo di sviluppo in un ramo principale.

- Push e Pull

Caricare i commit nel repository remoto e sincronizzarsi con le modifiche altrui.

2.15.1 Vantaggi di Git

Git offre diversi vantaggi [90]:

- Storia delle versioni

Mantiene un registro storico dettagliato delle modifiche, consentendo di risalire al momento e al motivo di ciascuna modifica.

- Collaborazione semplificata

Consente a più sviluppatori di lavorare contemporaneamente su diverse parti del progetto.

- Gestione dei conflitti

Fornisce strumenti per gestire conflitti che possono sorgere quando più persone modificano lo stesso file contemporaneamente.

- Sicurezza dei Dati

Il codice sorgente è distribuito in diverse copie, riducendo il rischio di perdita di dati.

2.15.2 Piattaforme di Hosting

Esistono diverse piattaforme di hosting, come GitHub, GitLab e Bitbucket, che forniscono servizi per ospitare repository Git in modo che siano accessibili a team di sviluppo o al pubblico.

Capitolo 3

Visualizzazione dei Percorsi Escursionistici

Questo capitolo avrà lo scopo di introdurre l'applicazione web sviluppata, mettendo in evidenza sia l'ambiente di lavoro (mostrando le varie regole per mantenere un codice pulito e leggibile) sia i principali obiettivi, le sfide affrontate e le soluzioni implementate. Inoltre verrà fornita una panoramica delle schermate chiave dell'applicazione.

3.1 Database

Lo sviluppo dell'applicazione è iniziata definendo la struttura del database, in quanto base fondamentale di tutto questo progetto.

I dati relativi ai percorsi e ai punti di interesse sono stati forniti dal sito governativo "Geo portale Regione Emilia-Romagna" sotto forma di file *XML*.

La struttura del database finale è illustrata in dettaglio nella figura 3.1, e questa rappresentazione visiva fornisce una panoramica chiara e intuitiva della sua organizzazione.

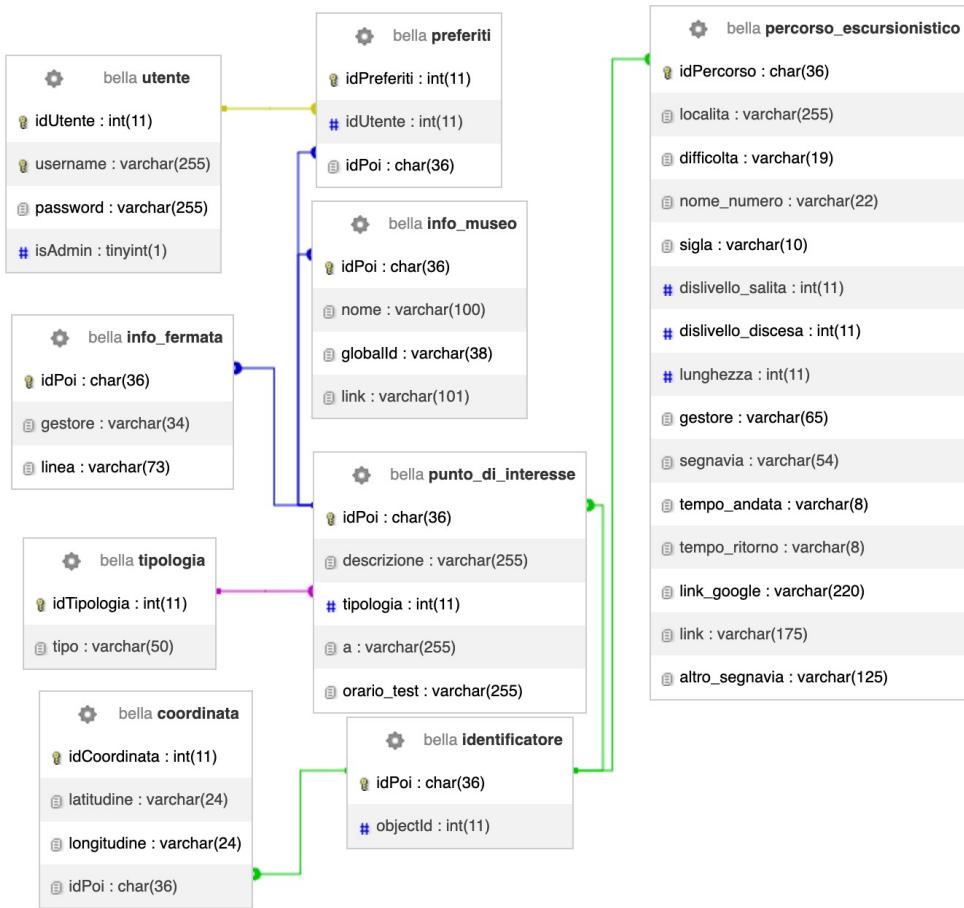


Figura 3.1: Struttura del database

3.2 Connettere front-end e back-end

Installato Vue.js, e creato il progetto, per connetterlo al server Apache è stato impostato un proxy, per fare in modo tale che ogni volta che venga fatta richiesta ad una cartella, tale richiesta viene inviata al server Apache ad un percorso specifico. Tutto questo è stato reso fattibile attraverso i file di impostazioni di Vue.js (figura 3.2).

Al fine di rendere riutilizzabile questo codice, è stato creato inoltre un file *JSON* chiamato "vue.config.json" che permette di cambiare soltanto i campi principali di questo proxy senza il bisogno di riconfigurare tutto.

```
const { defineConfig } = require('@vue/cli-service');
const redirection = require('./vue.config.json');

module.exports = defineConfig({
  publicPath: './',
  transpileDependencies: true,
  devServer: {
    historyApiFallback: true,
    https: true,
    proxy: {
      [redirection.name_redirect]: {
        target: `${redirection.url_redirect}`,
        changeOrigin: true,
        pathRewrite: {
          [`/${redirection.name_redirect}/`]: redirection.path_redirect,
        },
      },
    },
  },
});
```

Figura 3.2: Impostazioni Vue.js

3.2.1 Implementazione AJAX

Al fine di fare richieste al server Apache (che successivamente interrogava il database) è stato deciso di creare una personale implementazione di AJAX anziché utilizzare librerie esterne (figura 3.3).

Come parametri la funzione accetta:

- Il nome del file che deve eseguire nel server Apache
- La funzione che deve eseguire una volta ritornata la risposta (di base inizializzata a una funzione vuota).
- I dati da passare (sotto forma di oggetti Javascript).
- Il metodo da utilizzare secondo le RESTful API (di base impostato a "POST").

```

function asyncRequest(fileName, callback = () => {}, args = null,
  method = 'POST', contentType = 'application/x-www-form-urlencoded') {
  return new Promise((resolve) => {
    const { name_redirect } = vueConfig;
    const jsonArgs = args ? JSON.stringify(args) : null;
    const xhttp = new XMLHttpRequest();
    xhttp.onreadystatechange = function() {
      if (this.readyState == 4 && this.status == 200) {
        callback(JSON.parse(this.responseText));
        resolve(JSON.parse(this.responseText));
      }
    };
    xhttp.open(method, `/${name_redirect}/` + fileName, true);
    xhttp.setRequestHeader('Content-type', contentType);
    xhttp.send(jsonArgs ? 'args=' + jsonArgs : '');
  });
}

```

Figura 3.3: Implementazione di una funzione per le chiamate asincrone

- Un parametro utilizzato per specificare il tipo di dati che stai inviando o ricevendo in una richiesta HTTP (di base impostata a ”application/x-www-form-urlencoded”).

Dopodiché la funzione non fa altro che convertire gli oggetti Javascript da inviare in oggetti JSON. Una volta mandata la richiesta con i parametri passati e ricevuta la risposta senza alcun tipo di errore (quindi con lo stato della richiesta uguale a quattro e con la conferma della stato uguale a duecento) esegue la funzione data in input al metodo passandogli la risposta ottenuta.

3.3 Popolamento Database

Una volta configurato il proxy e creata la struttura del database rimaneva il compito di popolare il database. Come detto in precedenza i dati sono stati forniti sotto forma di file *XML*, tuttavia siccome *MySQL* non supporta questo tipo di file è stata creata una pagina web apposta, accessibile solo agli amministratori, che permette di svuotare e ricaricare il database, mostrando

quanto tempo ha impiegato a caricare ogni tipo di punto di interesse (figura 3.4).

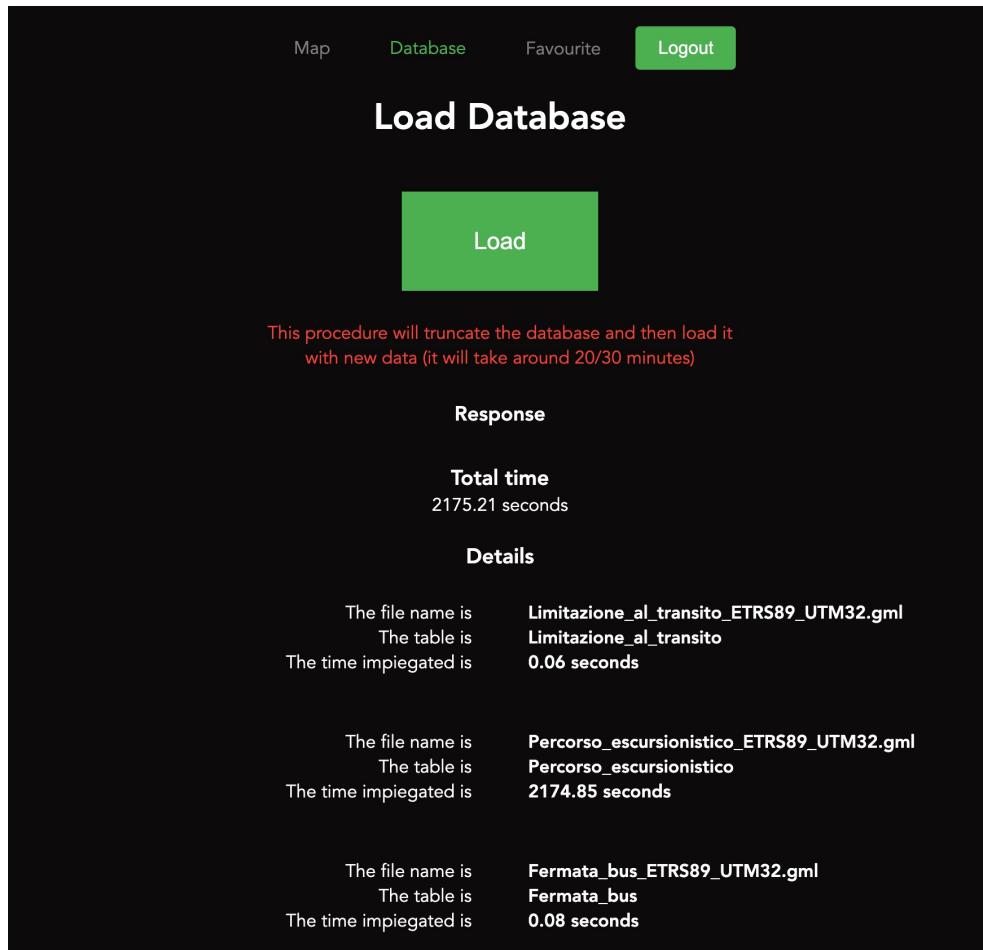


Figura 3.4: Pagina di caricamento del database

3.4 Servizio multi pagina di Vue.js

Una volta installato Vue-Router, un servizio di Vue.js per gestire l'indirizzamento. Dopodiché in un file sono stati creati i vari percorsi che corrispondono alle varie pagine disponibili (figura 3.5).

3.5 Cura del codice

Prima di iniziare a scrivere codice Javascript nei file Vue, ho voluto impostare uno stile di scrittura del codice utilizzando eslint al fine di avere del codice più pulito. Le regole principale impostate sono visibili in figura 3.6.

Tra queste regole, le principali sono:

- La gestione dei "tab"

Ogni "tab" è reso uguale a due spazi, come consigliato dalle linee guida di Vue.js.

- Limitazione di caratteri su una riga

È stato limitato il numero di caratteri su una riga fino ad un limite di 80, per assicurare maggiore leggibilità del codice.

3.6 Pagina principale

Appena caricato il database è stato possibile realizzare la pagina principale, che mostra una mappa interattiva della regione "Emilia-Romagna" evidenziandone i percorsi escursionistici e i punti di interesse (figura 3.7).

I vari percorsi sono colorati in base alla difficoltà:

- I percorsi che sono di tipo "E - Escursionistico" sono colorati di colore rosso
- I percorsi che sono di tipo "EE - Difficile" sono colorati di colore blu
- I percorsi che sono di tipo "EEA - Attrezzato" sono colorati di colore verde
- I percorsi che sono di tipo "T - Turistico" sono colorati di colore giallo

In questa pagina sono presenti vari opzioni nel menù a destra. Nella prima sezione possiamo scegliere il tipo di mappa che vogliamo mettere come sfondo, e abbiamo tre diverse opzioni:

- La prima opzione è di impostare come base la cartina fisica (ed è la scelta preimpostata).
- La seconda opzione è di impostare come base la cartina topografica.
- L'ultima opzione è di impostare come base la mappa satellitare.

Nella seconda sezione possiamo scegliere se mostrare tutti i punti di interesse, nasconderli tutti o mettere in risalto i percorsi ferroviari (figura 3.8).

Nella terza sezione del menù possiamo scegliere se mostrare i punti di interesse aggiunti come preferiti (solo nel caso in cui l'utente abbia effettuato la registrazione e l'accesso), se mostrare tutti i percorsi della regione o se mostrare solo i percorsi vicini alla posizione dell'utente.

Infine nell'ultima sezione è possibile scegliere quali punti di interesse mostrare e nascondere.

3.7 Geo localizzazione

L'applicazione permette inoltre di mostrare solamente i percorsi nelle vicinanze in un raggio di 40km. Per calcolare i quali percorsi mostrare viene utilizzata la formula di Haversine che ci permette di calcolare in modo efficiente le distanze geografiche sulla superficie terrestre [91].

La formula di Haversine è espressa come segue:

$$\begin{aligned} a &= \sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) + \cos(\phi_1) \cdot \cos(\phi_2) \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right) \\ c &= 2 \cdot \text{atan2}\left(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}\right) \\ d &= R \cdot c \end{aligned}$$

Dove:

$\Delta\phi$ è la differenza di latitudine tra i due punti.

$\Delta\lambda$ è la differenza di longitudine tra i due punti.

ϕ_1 è la latitudine del primo punto.

ϕ_2 è la latitudine del secondo punto.

R è il raggio della Terra (approssimativamente 6,371 km).

I valori ottenuti sono:

- a che è un valore che viene utilizzato successivamente per calcolare altre componenti.
- c che rappresenta l'angolo calcolato usando il valore α e la funzione atan2. Questo angolo è utilizzato per calcolare la distanza sulla superficie terrestre tra i due punti.
- d che rappresenta la distanza sulla superficie terrestre tra i due punti, misurata in unità di lunghezza specificate dal raggio terrestre R . Questa è la distanza effettiva tra i due punti che stai cercando di calcolare.

Quindi infine viene controllato il valore d che rappresenta la distanza tra le coordinate del percorso che si vuole mostrare e le coordinate della posizione dell'utente (figura 3.9).

3.8 Informazioni sui percorsi

È possibile ottenere informazioni su ogni singolo percorso escursionistico cliccandoci sopra, come dimostrato in figura 3.10.

3.9 Registrazione e accesso

È possibile registrarsi (figura 3.11) e eseguire l'accesso (figura 3.12) al fine di aggiungere informazioni sui punti di interesse o di creare una lista di punti di interesse preferiti.

3.10 Informazioni sui punti di interesse

Nel caso in cui l'utente clicchi su un punto di interesse è possibile vedere le sue informazioni. Se l'utente ha effettuato l'accesso è inoltre possibile aggiungere altre informazioni e aggiungere il punto nella lista dei punti preferiti (figura 3.13).

3.11 Pagina dei preferiti

Una volta che l'utente ha eseguito l'accesso e ha aggiunto dei punti di interesse nella sua lista dei preferiti, è possibile vedere una pagina (figura 3.14) che mostri tutte le informazioni su questi punti, insieme alla possibilità di filtrarli.

Da questa pagina è possibile vedere l'identificativo di ogni punto, che tipo di punto di interesse sia e le sue coordinate. Inoltre questa pagina permette di rimuovere ogni elemento dalla lista dei preferiti.

3.12 Aggiungere informazioni ai punti

Una volta che l'utente è registrato può aggiungere informazioni su ogni punto di interesse (come visibile in figura 3.13). La pagina da cui eseguire questa operazione appare come raffigurato in figura 3.15.

Questa pagina presenta tre opzioni:

- Cambiare valore ad un campo

Selezionando un campo dal menù a tendina è possibile cambiarne il valore. Questa funzione è utilizzabile per tutti gli utenti.

- Aggiungere un campo

È possibile aggiungere un campo a quel punto di interesse mettendogli il nome nella prima casella e il valore nella seconda. Nel caso verrà inserito un campo già presente nel punto, il valore di questo verrà sovrascritto. Questa funzione è utilizzabile per tutti gli utenti.

- Eliminare un campo

È possibile eliminare un campo aggiunto dagli utenti dal punto di interesse. Questa funzione è utilizzabile solo per gli amministratori.

```
9 const router = createRouter({
10   history: createWebHistory(process.env.BASE_URL),
11   routes: [
12     {
13       path: '/',
14       name: 'Map',
15       component: Map,
16     },
17     {
18       path: '/update-database',
19       name: 'Update Database',
20       component: Aggiorna_poi,
21     },
22     {
23       path: '/login',
24       name: 'Login',
25       component: LoginPage,
26     },
27     {
28       path: '/favourite',
29       name: 'Favourite',
30       component: FavouritePage,
31     },
32     {
33       path: '/register',
34       name: 'Register',
35       component: RegisterPage,
36     },
37     {
38       path: '/edit-poi',
39       name: 'Edit POI',
40       component: EditPoi,
41     }
42   ],
43 });

});
```

Figura 3.5: Codice per impostare i vari percorsi per le pagine

```
17 "rules": {
18   "indent": [
19     "error",
20     2
21   ],
22   "semi": [
23     "error",
24     "always"
25   ],
26   "object-curly-spacing": [
27     "error",
28     "always"
29   ],
30   "max-len": [
31     "error",
32     {
33       "code": 80,
34       "ignoreComments": true,
35       "ignoreTrailingComments": true,
36       "ignoreUrls": true,
37       "ignoreStrings": true,
38       "ignoreTemplateLiterals": true,
39       "ignoreRegExpLiterals": true
40     }
41   ]
42 }
```

Figura 3.6: Regole principale di eslint

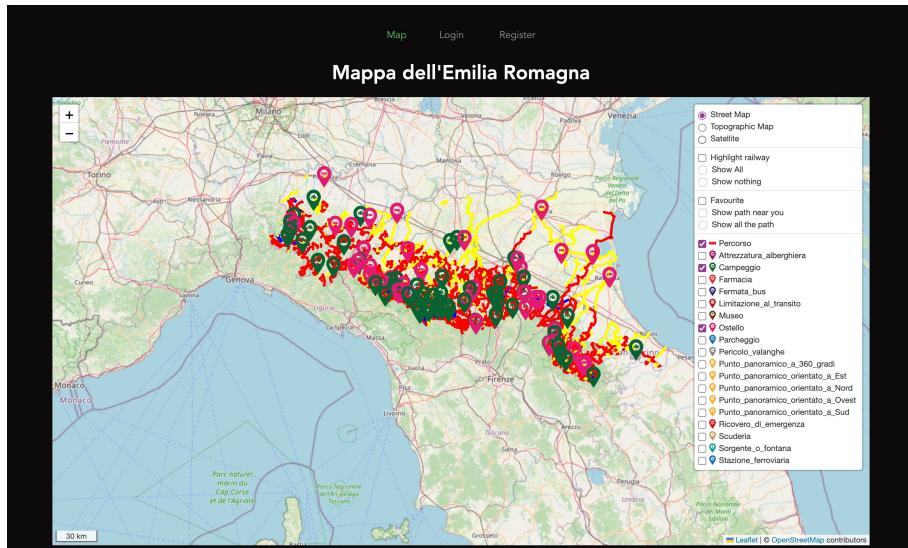


Figura 3.7: Dimostrazione della pagina principale

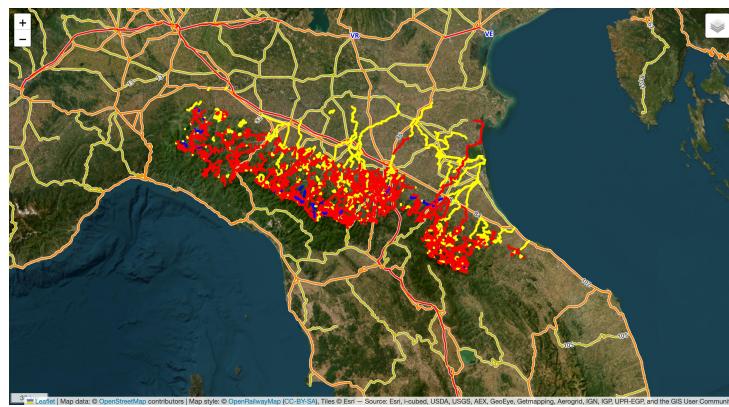


Figura 3.8: Mappa satellitare con i percorsi ferroviari evidenziati

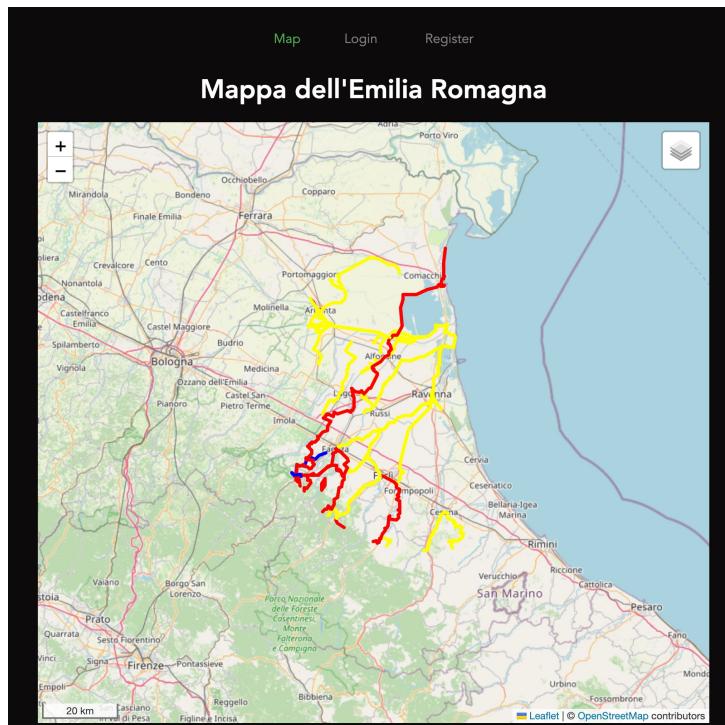


Figura 3.9: Dimostrazione cartina con percorsi vicini all'utente (test effettuato nel centro della città di Ravenna)

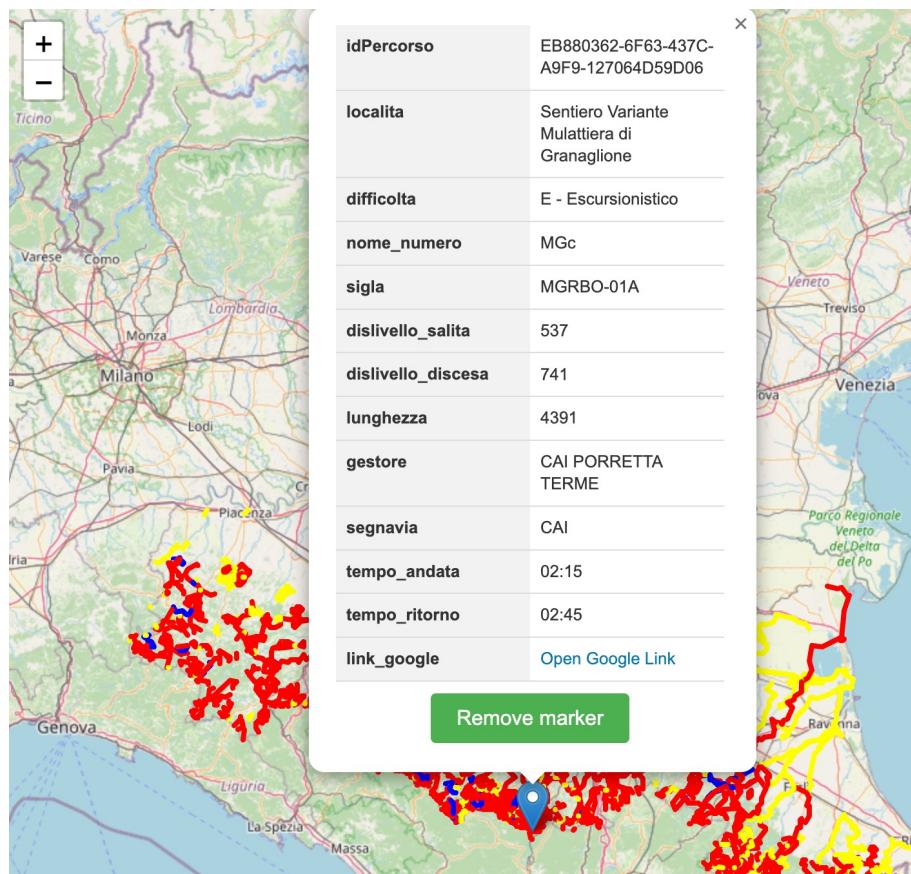


Figura 3.10: Informazioni di un percorso

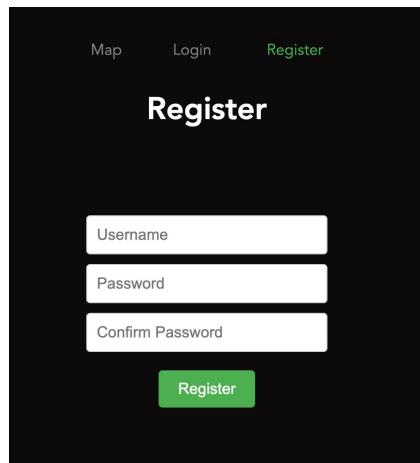


Figura 3.11: Pagina di registrazione

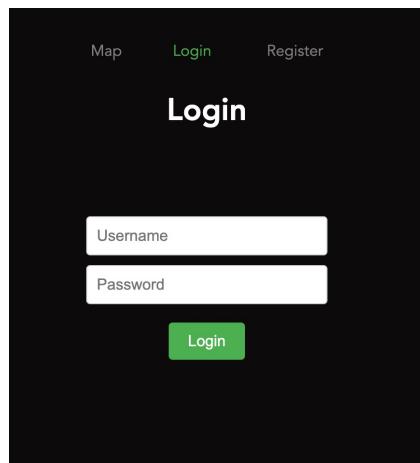


Figura 3.12: Pagina per effettuare l'accesso

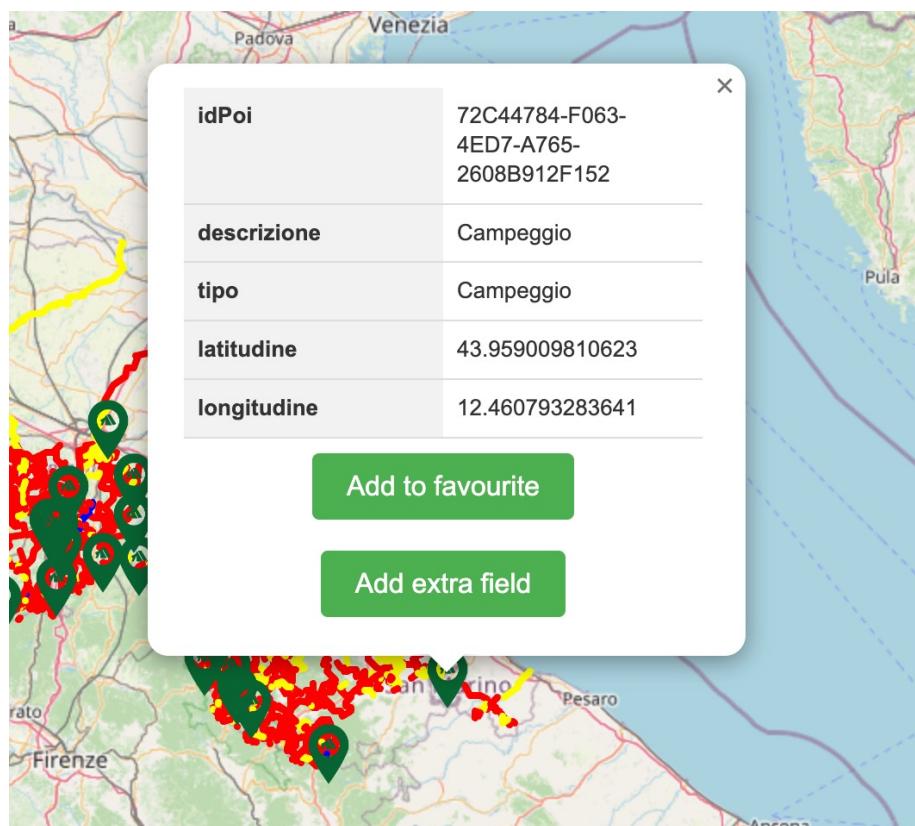


Figura 3.13: Informazioni di un percorso

The screenshot shows a dark-themed web application interface. At the top, there are navigation links: 'Map', 'Favourite' (which is highlighted in green), and 'Logout'. Below these, a table displays a list of saved POIs:

idPoi	tipologia	latitudine	longitudine	Remove from favourite
72044784-F080-4ED7-A765-2608B912F152	Campeggio	43.959009810623	12.460793283641	<button>Remove</button>
F082BC94-A2F5-48B8-960B-00CB9A40D3AD	Limitazione_al_transito	44.123419342237	10.856706965843	<button>Remove</button>
181404D0-F7E7-4430-8557-224AEF7BD376	Limitazione_al_transito	43.820759562032	11.91356907941	<button>Remove</button>
4A69C724-C66D-45AA-801B-90062C0E1352	Fermata_bus	44.161445148276	10.894139266492	<button>Remove</button>
6490308B-C05F-404D-8783-4AB780C7F1AC	Fermata_bus	43.88494990906	11.958549110152	<button>Remove</button>
19802053-7FF5-451F-9790-D3F9683A1A46	Farmacia	44.825727470042	10.210372396556	<button>Remove</button>
DA4D77B3-7B34-4AAC-AC28-52F0E68AD767	Farmacia	44.778764133397	11.586752699567	<button>Remove</button>
D1C28432-1952-4A28-8C11	Farmacia	44.411886935255	12.206322308182	<button>Remove</button>

A sidebar on the right contains a 'Reset filter' button and a list of categories with radio buttons:

- Attrazzatura_alberghiera
- Campeggio
- Farmacia
- Fermata_bus
- Limitazione_al_transito
- Museo
- Ostello
- Parcheggio
- Pericolo_valanghe
- Punto_panoramico_a_360_gradi
- Punto_panoramico_orientato_a_Est
- Punto_panoramico_orientato_a_Nord
- Punto_panoramico_orientato_a_Ovest
- Punto_panoramico_orientato_a_Sud
- Ricovero_di_emergenza
- Scuderia
- Sorgente_o_fontana
- Stazione_ferroviaria

Figura 3.14: Pagina dei preferiti

The screenshot shows a dark-themed web application interface. At the top, there are navigation links: 'Map', 'Database' (which is highlighted in green), 'Favourite', and 'Logout'. Below these, three modal dialogs are displayed:

- Change value of a field**: A form with a dropdown menu 'Change field:' set to 'descrizione', a 'New value:' input field, and a 'Change value' button.
- Add a field**: A form with 'Field name:' set to 'campo_aggiunto', 'Value:' set to '3', and a 'Submit' button.
- Delete a field as Admin**: A form with 'Field to delete:' set to 'campo_aggiunto' and a 'Delete field' button. A red warning message states: 'This procedure will delete the field from the database'.

Figura 3.15: Pagina per aggiungere informazioni sui punti di interesse

Conclusioni

L’obiettivo di questo progetto di tesi è la realizzazione di un’applicazione web dedicata agli escursionisti nella regione Emilia-Romagna.

Sono stati esaminati i concetti di Digital Twin, Digital Shadow e Digital Thread, analizzandone prevalentemente le definizioni, l’origine e i vantaggi. Si è compreso il ruolo fondamentale del Digital Twin nell’Industria 4.0, del Digital Shadow nella raccolta dei dati degli utenti e del Digital Thread nella gestione continua delle informazioni. Sono state analizzate le tecnologie fondamentali per lo sviluppo di questa piattaforma tra cui HTML, CSS, JavaScript e altre librerie e framework pertinenti. Infine sono state discusse le sfide tecniche affrontate durante lo sviluppo, focalizzandosi sulla visualizzazione dei percorsi escursionistici e sulla gestione dei dati. Sono state presentate le varie funzionalità dell’applicazione, tra cui la visualizzazione dei percorsi, i servizi di geo-localizzazione, la registrazione degli utenti e la possibilità di arricchire i dati relativi ai punti di interesse.

È importante notare che, mediante la modifica dei dati forniti per la creazione del database, è possibile estendere l’applicazione per consentire la visualizzazione di percorsi escursionistici in qualsiasi parte del mondo. Inoltre, siccome è già stata implementata la funzionalità di geo-localizzazione, potrebbe essere esplorata la possibilità di tracciare gli utenti lungo i percorsi e, potenzialmente, rendere possibile un’interazione tra gli escursionisti lungo lo stesso sentiero. Questi sviluppi futuri potrebbero ulteriormente trasformare l’applicazione in un social network dedicato agli amanti delle escursioni. In futuro potrebbero anche essere aggiunte integrazioni aggiuntive, usando i

servizi offerti da *Tripadvisor*, da *Google places* o da *Arpae*. Infine potrebbe essere aggiunta la possibilità di mostrare il meteo sulla regione o di mostrare le immagini satellitari riguardanti i punti di interesse.

Bibliografia

- [1] Stankov u, gretzel u. tourism 4.0 technologies and tourist experiences: a human-centered design perspective. *information technology tourism.* URL <https://doi.org/10.1007/s40558-020-00186-y>.
- [2] Glaessgen, e.; stargel, d. the digital twin paradigm for future nasa and us air force vehicles. in proceedings of the 53rd aiaa/asme/asce/ahs/asc structures, structural dynamics and materials conference, honolulu, hi, usa, 23–26 july 2012; p. 1818. URL <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2012-1818s>.
- [3] Google trends. URL <https://trends.google.com/trends/explore?date=all&q=/g/11b90fjhmq>.
- [4] Kritzinger, w.; karner, m.; traar, g.; henjes, j.; sihn, w. digital twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *ifac-papersonline* 2018, 51, 1016–1022. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896318316021>.
- [5] Fortune business insights. . URL <https://www.fortunebusinessinsights.com/digital-twin-market-106246>.
- [6] Erol, t.; mendi, a.f.; doğan, d. digital transformation revolution with digital twin technology. in proceedings of the 2020 4th international symposium on multidisciplinary studies and innovative technologies (ismsit), istanbul, turkey, 22–24 october 2020; pp. 1–7. URL <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9254288>.

- [7] Grieves, m. origins of the digital twin concept. . URL https://www.researchgate.net/publication/307509727_Origins_of_the_Digital_Twin_Concept/.
- [8] Grieves, m.w. product lifecycle management: The new paradigm for enterprises. int. j. prod. dev. 2005, 2, 71–84. URL <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJPD.2005.006669>.
- [9] Gelernter, d. mirror worlds: Or: The day software puts the universe in a shoebox. how it will happen and what it will mean; oxford university press: Oxford, uk, 1993. URL https://books.google.it/books?hl=en&lr=&id=jh2U379fq18C&oi=fnd&pg=PR7&ots=kWLPf0pb3d&sig=dz0exqZULcEN1tE3eTLhg2KwKfc&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.
- [10] Grieves, m. origins of the digital twin concept. 2016. . URL https://www.researchgate.net/publication/307509727_Origins_of_the_Digital_Twin_Concept.
- [11] Grieves, m. back to the future: Product lifecycle management and the virtualization of product information. in product realization; springer: Boston, ma, usa, 2009. . URL https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-09482-3_3.
- [12] WU Wen-hao, Chen Guo-bing, and Yang Zi-chun. The application and challenge of digital twin technology in ship equipment. 1939(1):012068, may 2021. doi: 10.1088/1742-6596/1939/1/012068. URL <https://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1939/1/012068>.
- [13] Rosen, r.; von wichert, g.; lo, g.; bettenhausen, k.d. about the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896315003808?via%3Dihub>.

- [14] Tuegel, e.j.; ingraffea, a.r.; eason, t.g.; spottswood, s.m. reengineering aircraft structural life prediction using a digital twin. . URL <https://www.hindawi.com/journals/ijae/2011/154798/>.
- [15] Rosen, r.; von wichert, g.; lo, g.; bettenhausen, k.d. about the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing. ifac-papersonline 2015, 48, 567–572. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896315003808>.
- [16] Tuegel, e. the airframe digital twin: Some challenges to realization. in proceedings of the 53rd aiaa/asme/asce/ahs/asc structures, structural dynamics and materials conference 20th aiaa/asme/ahs adaptive structures conference 14th aiaa, honolulu, hi, usa, 23–26 july 2012; p. 1812. . URL <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2012-1812>.
- [17] Majumdar, p.k.; faisalhaider, m.; reifsnider, k. multi-physics response of structural composites and framework for modeling using material geometry. in proceedings of the 54th aiaa/asme/asce/ahs/asc structures, structural dynamics, and materials conference, boston, ma, usa, 8–11 april 2013; p. 1577. . URL <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2013-1577>.
- [18] Lee, j.; lapira, e.; bagheri, b.; kao, h.-a. recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. manuf. lett. 2013, 1, 38–41. . URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213846313000114>.
- [19] Hollkamp, j.j. modeling vibratory damage with reduced-order models and the generalized finite element method. j. sound vib. 2014, 333, 6637–6650. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022460X14006208>.
- [20] Bielefeldt, b.; hochhalter, j.; hartl, d. computationally efficient analysis of sma sensory particles embedded in complex aerostructures using a substructure approach. in proceedings of the asme

- 2015 conference on smart materials, adaptive structures and intelligent systems, colorado springs, co, usa, 21–23 september 2015. URL <https://asmedigitalcollection.asme.org/SMASIS/proceedings-abstract/SMASIS2015/284225>.
- [21] Leiva, c. demystifying the digital thread and digital twin concepts. ind. week. august 2016, 1, 2016. URL https://info.ibaset.com/hubfs/Demystifying_the_Digital_Thread_and_Digital_Twin.pdf.
- [22] Negri, e.; fumagalli, l.; macchi, m. a review of the roles of digital twin in cps-based production systems. *procedia manuf.* 2017, 11, 939–948. . URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917304067>.
- [23] Barricelli, b.r.; casiraghi, e.; fogli, d. a survey on digital twin: Definitions, characteristics, applications, and design implications. *ieee access* 2019, 7, 167653–167671. URL <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8901113>.
- [24] Wired brand lab; digital twin: Bridging the physical-digital divide. 2017. URL <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/iot-digital-twin-enablers/>.
- [25] Banerjee, a.; dalal, r.; mittal, s.; joshi, k.p. generating digital twin models using knowledge graphs for industrial production lines. *umbc inf. syst. dep.* 2017. URL <https://mdsoar.org/handle/11603/11592>.
- [26] Schluse, m.; rossmann, j. from simulation to experimentable digital twins: Simulation-based development and operation of complex technical systems. in *proceedings of the 2016 ieee international symposium on systems engineering (isse)*, edinburgh, uk, 3–5 october 2016; pp. 1–6. . URL <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7753162>.

- [27] Schroeder, g. n., steinmetz, c., pereira, c. e., espindola, d. b. (2015). digital twin data modeling with automationml and a communication methodology for data exchange. ifac-papersonline, 49(30), 12-17. .
- [28] Rauch, l.; pietrzyk, m. digital twins as a modern approach to design of industrial processes. j. mach. eng. 2019, 19. . URL <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-2b409eff-f81d-4a91-8614-1a93363b3497>.
- [29] El saddik, a. digital twins: The convergence of multimedia technologies. ieee multimed. 2018, 25, 87–92. URL <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8424832>.
- [30] Lagrange, e. developing a digital twin: The roadmap for oil and gas optimization. in proceedings of the spe offshore europe conference and exhibition, aberdeen, uk, 3–6 september 2019. . URL <https://onepetro.org/SPEOE/proceedings-abstract/190E/1-190E/D011S003R001/218956>.
- [31] Kraft, e.m. the air force digital thread/digital twin-life cycle integration and use of computational and experimental knowledge. in proceedings of the 54th aiaa aerospace sciences meeting, san diego, ca, usa, 4–8 january 2016; p. 0897. . URL <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2016-0897>.
- [32] Grieves, m.; vickers, j. digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. in transdisciplinary perspectives on complex systems; springer: Cham switzerland, 2017; pp. 85–113. URL https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-38756-7_4.
- [33] Application of digital twin in industrial manufacturing. URL <https://www.futurebridge.com/industry/perspectives-mobility/application-of-digital-twin-in-industrial-manufacturing/>.

- [34] Madni, a.m.; madni, c.c.; lucero, s.d. leveraging digital twin technology in model-based systems engineering. URL <https://www.mdpi.com/2079-8954/7/1/7>.
- [35] Researchgate website. URL https://www.researchgate.net/figure/Number-of-Digital-Twin-related-publications-by-year-from-2011-to-2020-on-Scopefig3_351827732.
- [36] Gartner identifies the top 10 strategic technology trends for 2017. . URL <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2016-10-18-gartner-identifies-the-top-10-strategic-technology-trends-for-2017>
- [37] Gartner identifies the top 10 strategic technology trends for 2018. . URL <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2017-10-04-gartner-identifies-the-top-10-strategic-technology-trends-for-2018>
- [38] Gartner identifies the top 10 strategic technology trends for 2019. . URL <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-10-15-gartner-identifies-the-top-10-strategic-technology-trends-for-2019>
- [39] Qi, q.; tao, f.; zuo, y.; zhao, d. digital twin service towards smart manufacturing. *procedia cirp.* 2018, 72, 237–242. . URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827118302580>.
- [40] Marr, b. these 25 technology trends will define the next decade. . URL <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2020/04/20/these-25-technology-trends-will-define-the-next-decade/#3153a5329e3b>.
- [41] Tao, f.; cheng, j.; qi, q.; zhang, m.; zhang, h.; sui, f. digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *int. j. adv. manuf. technol.* 2018, 94, 3563–3576. . URL <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-017-0233-1>.

- [42] Qi, q.; tao, f. digital twin and big data towards smart manufacturing and industry 4.0:360 degree comparison. *ieee access* 2018, 6, 3585–3593. . URL <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8258937>.
- [43] Gartner survey reveals 47% of organizations will increase investments in iot despite the impact of covid-19. . URL <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-10-29-gartner-survey-reveals-47-percent-of-organizations-will-increase->
- [44] Kaarlela, t.; pieskä, s.; pitkäaho, t. digital twin and virtual reality for safety training. in proceedings of the 2020 11th ieee international conference on cognitive infocommunications (coginfocom), mariehamn, finland, 23–25 september 2020; pp. 115–120. . URL <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9237812>.
- [45] Miskinis, c. how are mining will be improved using digital twin simulations. 2018. URL <https://www.challenge.org/insights/digital-twin-in-mining/>.
- [46] Tao, f.; qi, q.; wang, l.; nee, a. digital twins and cyber–physical systems toward smart manufacturing and industry 4.0: Correlation and comparison. *engineering* 2019, 5, 653–661. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209580991830612X>.
- [47] Siemens company. URL <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/digital-twin/24465>.
- [48] Exosite. the 3 types of digital twin maturity models. 2017. URL <https://blog.exosite.com/3-digital-twin-maturity-models>.
- [49] Margaria, t., schieweck, a. (2019). the digital thread. in: Ahrendt, w., tapia tarifa, s. (eds) integrated formal methods. ifm 2019. lecture notes in computer science(), vol 11918. springer. . URL https://doi.org/10.1007/978-3-030-34968-4_1.

- [50] Engineering design with digital thread — aiaa journal. *aiaa journal*. published 2018. . URL <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/1-J057255>.
- [51] Pang, t. y., pelaez restrepo, j. d., cheng, c., yasin, a., lim, h., miletic, m. (2020). developing a digital twin and digital thread framework for an ‘industry 4.0’ shipyard. *applied sciences*, 11(3), 1097. . URL <https://doi.org/10.3390/app11031097>.
- [52] Bone, m., blackburn, m., kruse, b., dzielski, j., hagedorn, t., grosse, i. (2018). toward an interoperability and integration framework to enable digital thread. *systems*, 6(4), 46. . URL <https://doi.org/10.3390/systems6040046>.
- [53] Feldhausen, t., saleeby, k., kurfess, t. (2021). spinning the digital thread with hybrid manufacturing. *manufacturing letters*, 29, 15-18. . URL <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2021.05.003>.
- [54] Bauernhansl, t., harteif, s., felix, t. (2017). the digital shadow of production – a concept for the effective and efficient information supply in dynamic industrial environments. *procedia cirp*, 72, 69-74. . URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827118303470>.
- [55] Riesener, m., schuh, g., dölle, c., tönnies, c. (2018). the digital shadow as enabler for data analytics in product life cycle management. *procedia cirp*, 80, 729-734. . URL <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.01.083>.
- [56] Remeikiene r, ligita gaspareniene, schneider f. the definition of digital shadow economy. technological and economic development of economy. 2017;24(2):696-717. . URL <https://doi.org/10.3846/20294913.2016.1266530>.

- [57] Leveraging crowdsensed data streams to discover and sell knowledge: A secure and efficient realization. URL <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8416327>.
- [58] Kai Hao Yang. Selling consumer data for profit: Optimal market-segmentation design and its consequences. *American Economic Review*, 112(4):1364–93, April 2022. doi: 10.1257/aer.20210616. URL <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.20210616>.
- [59] The big health data sale by philip hunter container: Embo reports publisher: Nature portfolio. URL <https://www.embopress.org/doi/full/10.15252/embr.201642917>.
- [60] Cooper e, lindley s, wadler p, yallop j. links: Web programming without tiers.. URL https://doi.org/10.1007/978-3-540-74792-5_12.
- [61] Core web programming. google books. URL https://books.google.it/books?hl=en&lr=&id=q45_UDI77PoC&oi=fnd&pg=PR1&dq=web+programming&ots=RWHQnXfz_5&sig=RQ9WcBs05cjS6TXSx503x10E2kc&redir_esc=y#v=onepage&q=web%20programming&f=false.
- [62] Learning php, mysql javascript. google books. URL https://books.google.it/books?hl=en&lr=&id=uHqrBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=web+programming+css&ots=yYYM_s02q9&sig=GSpQFJqbphwZimnZBVP-BLgj9EU&redir_esc=y#v=onepage&q=web%20programming%20css&f=false.
- [63] Guha a, claudiu saftoiu, shriram Krishnamurthi. the essence of javascript. springer ebooks. URL https://doi.org/10.1007/978-3-642-14107-2_7.
- [64] Leaflet. leaflet — an open-source javascript library for interactive maps. URL <https://leafletjs.com/>.
- [65] Geojson. geojson.org. published 2015. URL <https://geojson.org/>.

- [66] gpx.studio. gpx.studio.. URL <https://gpx.studio/>.
- [67] Kml tutorial. google for developers. URL https://developers.google.com/kml/documentation/kml_tut.
- [68] Npm, node package manager. URL <https://www.npmjs.com/>.
- [69] Node.js framework. URL <https://nodejs.org/en>.
- [70] Php and mysql web development. google books.. URL https://books.google.it/books?hl=en&lr=&id=G4dT RypfhoC&oi=fnd&pg=PA1&dq=php&ots=THMfoFafmf&sig=4DvWQT0kZmzlc0CoPztndlEv-2g&redir_esc=y#v=onepage&q=php&f=false.
- [71] Halfond w, viegas j, orso a. a classification of sql injection attacks and countermeasures. URL <https://www.cc.gatech.edu/fac/Alex.Orso/papers/halfond.viegas.orso.ISSSE06.pdf>.
- [72] Lwin khin shar, beng h. defeating sql injection. ieee computer. 2013;46(3):69-77. URL <https://doi.org/10.1109/mc.2012.283>.
- [73] Gupta s, gupta bb. cross-site scripting (xss) attacks and defense mechanisms: classification and state-of-the-art. international journal of systems assurance engineering and management.. URL <https://doi.org/10.1007/s13198-015-0376-0>.
- [74] How to design a good api and why it matters — companion to the 21st acm sigplan symposium on object-oriented programming systems, languages, and applications. acm conferences. . URL <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/1176617.1176622>.
- [75] Sohan sm, anslow c, maurer f. a case study of web api evolution.. . URL <https://doi.org/10.1109/services.2015.43>.
- [76] Qiu, d., li, b., leung, h. (2016). understanding the api usage in java. information and software technology, 73, 81-100. . URL <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2016.01.011>.

- [77] Optimal allocation of on-chip memory for multiple-api operating systems — acm sigarch computer architecture news. acm sigarch computer architecture news. . URL <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/192007.192070>.
- [78] Rest api design rulebook. google books. published 2023.. . URL https://books.google.it/books?hl=en&lr=&id=eABpzyTcJNIC&oi=fnd&pg=PR3&dq=rest+api&ots=vAXy26gg0F&sig=j4VqoVurHgXHvB-0j0i6l09jQzw&redir_esc=y#v=onepage&q=rest%20api&f=false.
- [79] Zhou w, li l, luo m, chou w. rest api design patterns for sdn northbound api. . URL <https://doi.org/10.1109/waina.2014.153>.
- [80] Buse, weimer. synthesizing api usage examples. . URL <https://doi.org/10.1109/icse.2012.6227140>.
- [81] Json — proceedings of the 36th acm sigmod-sigact-sigai symposium on principles of database systems. acm conferences. . URL <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3034786.3056120>.
- [82] Nurseitov n, paulson m, reynolds r, izurieta c. comparison of json and xml data interchange formats: A case study.. . URL <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=84321e662b24363e032d680901627aa1bfd6088f>.
- [83] Nils agne nordbotten. xml and web services security standards. ieee communications surveys and tutorials. 2009;11(3):4-21.. URL <https://doi.org/10.1109/surv.2009.090302>.
- [84] Xslt. google books. published 2023. URL https://books.google.it/books?hl=en&lr=&id=VZaiiPkH94sC&oi=fnd&pg=PR7&dq=xslt&ots=04PlxjIH-A&sig=C7I8cK_Jgigqqt9rl8eoEqsOUiA&redir_esc=y#v=onepage&q=xslt&f=false.

- [85] Clark j, com_ s, derose. rendered from xml to pdf by xep - www.renderx.com xsl to pdf and xsl to postscript formatter xml path language (xpath).; 1999. URL <https://www.renderx.com/~renderx/portal/Tests/xmlspec/xpath.pdf>.
- [86] Data normalization, denormalization. melissa hollingsworth. URL <http://www.cems.uwe.ac.uk/~p-chatterjee/resources/pdf/NormalizationDenormalizationWhitePaper.pdf>.
- [87] Dvorski d. installing, configuring, and developing with xampp.; 2007.. URL <http://dalibor.dvorski.net/downloads/docs/installingconfiguringdevelopingwithxampp.pdf>.
- [88] Apache guide. google books. URL https://books.google.it/books?hl=en&lr=&id=1z6QfgsnpKsC&oi=fnd&pg=PT5&dq=apache&ots=4xSosAei-4&sig=YONj4pngsPoqQU90GB59YfbaMAw&redir_esc=y#v=onepage&q=apache&f=false.
- [89] Version control with git. google books. . URL https://books.google.it/books?hl=en&lr=&id=aM7-0xo3qdQC&oi=fnd&pg=PR3&dq=git&ots=3aCfLJTlof&sig=HP_Ac1hFj0cr6LZKircbYRGppeo&redir_esc=y#v=onepage&q=git&f=false.
- [90] Diomidis spinellis. git. ieee software. 2012;29(3):100-101. . URL <https://doi.org/10.1109/ms.2012.61>.
- [91] Wikipedia contributors. haversine formula. wikipedia. published july 31, 2023. URL https://en.wikipedia.org/wiki/Haversine_formula#:~:text=The%20haversine%20formula%20determines%20the, and%20angles%20of%20spherical%20triangles.
- [92] Främling k, j. holmström, timo ala-risku, m. kärkkäinen. product agents for handling information about physical objects. published 2017. . URL <https://www.semanticscholar.org/>

- paper/Product-agents-for-handling-information-about-Fr%C3%A4mling-Holmstr%C3%B6m/53964777c832b035ce3518ef88dc2b4f3ae5ef1f.
- [93] Gockel, b.t.; tudor, a.h.; brandyberry, m.d.; penmetsa, r.c.; tuegel, e.j. challenges with structural life forecasting using realistic mission profiles. in proceedings of the 53rd aiaa/asme/asce/ahs/asc structures, structural dynamics and materials conference, honolulu, hi, usa, 23–26 july 2012; p. 1813. URL <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2012-1813>.
 - [94] Singh, m., fuenmayor, e., hinchy, e. p., qiao, y., murray, n., devine, d. (2021). digital twin. URL <https://www.mdpi.com/2571-5577/4/2/36#B3-asi-04-00036>.
 - [95] Ríos, j.; hernández, j.c.; oliva, m.; mas, f. product avatar as digital counterpart of a physical individual product: Literature review and implications in an aircraft. in proceedings of the ispe ce, delft, the netherlands, 20–23 july 2015; pp. 657–666. . URL <https://ebooks-iospress.nl/doi/10.3233/978-1-61499-544-9-657>.