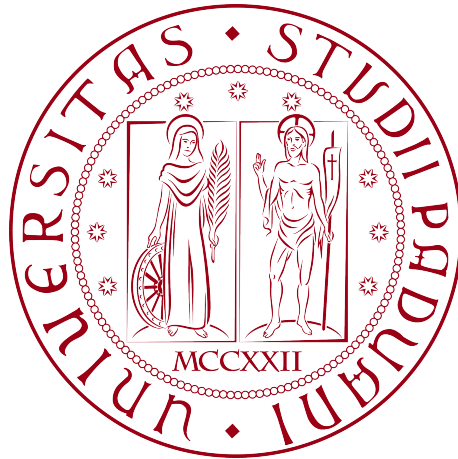


Università degli Studi di Padova

DIPARTIMENTO DI MATEMATICA “TULLIO LEVI-CIVITA”

CORSO DI LAUREA IN INFORMATICA



***SviluppAbile: un'estensione per sviluppare pagine
web accessibili con l'aiuto di un chatbot***

Tesi di Laurea

Relatrice

Prof.ssa Ombretta Gaggi

Laureanda

Elena Chilese

Matricola 2008074

ANNO ACCADEMICO 2024-2025

“Dedicata ad Elena, che mai si è arresa...”

Ringraziamenti

Per prima cosa desidero ringraziare la professoressa Ombretta Gaggi, relatrice della mia tesi e tutor del mio stage, per l’assistenza e il sostegno fornitimi durante tutto il percorso di stage e nella stesura del lavoro.

Un sincero grazie va anche a Salvatore Gatto per il supporto e l’aiuto durante lo stage.

Con profondo affetto ringrazio i miei genitori e, in particolar modo, mia mamma, per la pazienza e la forza con cui mi ha sempre sostenuta nei momenti più difficili. Un ringraziamento va anche ai miei zii e soprattutto a mio nonno Adriano, il mio angelo custode, per l’affetto che non mi ha mai fatto mancare.

Un grazie speciale a Michele, che mi è stato accanto fin dall’inizio del percorso universitario, diventando non solo un prezioso punto di riferimento in ogni occasione, ma anche il mio compagno di avventure ed il mio migliore amico.

Ringrazio di cuore tutti i miei amici e i compagni di università (in particolare Matteo, Elena ed Erica) per la loro vicinanza ed il sostegno dimostrato in questi anni.

Desidero esprimere la mia gratitudine inoltre ai colleghi (e miei ex professori) dell’ITE Fusinieri, che hanno saputo trasmettermi passione e competenze fondamentali indispensabili per il raggiungimento di questo traguardo universitario.

Padova, Settembre 2025

Elena Chilese

Sommario

Il presente documento descrive il lavoro svolto durante il periodo di stage, della durata di trecento ore svolto presso il Dipartimento di Matematica “Tullio Levi-Civita” dell’Università di Padova.

Il prodotto finale dello stage è un’estensione web *Chrome-based_G* per aiutare gli sviluppatori web nella creazione di pagine web accessibili.

Gli obiettivi del progetto sono:

- Studio dell’accessibilità web;
- Studio di Manifest V3;
- Studio delle possibili *API_G* per l’integrazione dell’ *IA_G*;
- Creazione di un’estensione web che integri un *chatbot_G AI_G* per analizzare il codice sorgente della pagina web ed offrire risposte adeguate.

Tabella dei contenuti

1	Introduzione	1
1.1	L'idea del progetto	1
1.2	Analisi delle soluzioni già presenti	3
1.3	Organizzazione del testo	3
2	Analisi dei requisiti	5
2.1	Obiettivo del progetto	5
2.2	Casi d'uso	5
2.3	Tracciamento dei requisiti	5
2.3.1	Requisiti obbligatori	6
2.3.2	Requisiti desiderabili	6
2.3.3	Requisiti facoltativi	6
3	Tecnologie	7
3.1	Linguaggi	7
3.1.1	HTML	7
3.1.2	CSS	8
3.1.3	Prism.js	9
3.1.4	JavaScript	9
3.2	Tecnologie e strumenti	11
3.2.1	Chrome Extension	11
3.2.1.1	Manifest V3	11
3.2.2	Ollama	14
3.2.3	GitHub	15
3.2.4	VSCode	16
3.2.5	Total Validator	17
3.2.6	WAVE	17

TABELLA DEI CONTENUTI

3.2.7	Lighthouse	18
4	Sviluppo del progetto di stage	19
4.1	Web design	19
4.2	PoC	19
4.3	Prodotto finale	20
4.3.1	Guida all'utilizzo	21
4.3.1.1	Avvio dell'estensione	21
4.3.1.2	Analisi assistita	22
4.3.1.3	Modalità guidata	25
4.3.2	Interazione con l'AI	27
4.3.3	Filtraggio risposta generata	29
4.4	Problematiche riscontrate	30
4.5	Problematiche riscontrate	31
5	Test	33
5.1	Test "Analisi assistita"	33
5.1.1	F1-score	33
5.1.2	Sito web: SudokuWorld	34
5.1.2.1	Total Validator	34
5.1.2.2	Lighthouse	35
5.1.2.3	SviluppAbile	36
5.1.2.4	Resoconto finale	36
5.1.3	Sito web: Dolce Risveglio	36
5.1.3.1	Total Validator	36
5.1.3.2	Lighthouse	37
5.1.3.3	SviluppAbile	37
5.1.4	Sito web: E-lixirium	37
5.1.4.1	Total Validator	38
5.1.4.2	Lighthouse	38

TABELLA DEI CONTENUTI

5.1.4.3	SviluppAbile	39
5.1.5	Sito web: Corsa Ideale	39
5.1.6	Sito web: BookOverflow	39
5.1.6.1	Total Validator	40
5.1.6.2	Lighthouse	40
5.1.6.3	SviluppAbile	40
5.1.7	Sito web: LuzzAuto	41
5.1.7.1	Total Validator	41
5.1.7.2	Lighthouse	42
5.1.7.3	SviluppAbile	42
5.2	Test “Modalità guidata”	43
6	Conclusioni	49
6.1	Raggiungimento degli obiettivi	49
6.1.1	Misurazione quantitativa dei requisiti soddisfatti	50
6.2	Sviluppi futuri	50
6.3	Consuntivo finale	51
6.4	Competenze acquisite	51
6.5	Valutazione personale	52
Acronimi e abbreviazioni		i
Glossario		ii
Bibliografia		viii

Elenco delle figure

3.1	Logo HTML5	8
3.2	Logo CSS3	9
3.3	Logo JavaScript	10
3.4	Logo Ollama	15
3.5	Logo GitHub	16
3.6	Logo VSCode	17
3.7	Logo Total Validator	17
3.8	Logo WAVE	18
3.9	Logo Lighthouse	18
4.1	Logo dell'estensione <i>SviluppAbile</i>	21
4.2	Popup di avvio dell'estensione <i>SviluppAbile</i>	22
4.3	Modalità: analisi assistita	23
4.4	Modalità: analisi assistita - modalità notte	23
4.5	Modalità: analisi assistita dopo un'interazione	24
4.6	Modalità: sviluppo guidato, pagina iniziale	25
4.7	Modalità: sviluppo guidato - modalità notte	26
4.8	Modalità: sviluppo guidato, dopo alcune interazioni	27
5.1	Analisi di Total Validator sul sito web <i>SudokuWorld</i>	34
5.2	Analisi di Lighthouse sul sito web <i>SudokuWorld</i>	35
5.3	Analisi di Total Validator sul sito web <i>Dolce Risveglio</i>	36
5.4	Analisi di Lighthouse sul sito web <i>Dolce Risveglio</i>	37
5.5	Analisi di Total Validator sul sito web <i>E-lixirium</i>	38
5.6	Analisi di Lighthouse sul sito web <i>E-lixirium</i>	39
5.7	Analisi di Total Validator sul sito web <i>BookOverflow</i>	40
5.8	Analisi di Lighthouse sul sito web <i>BookOverflow</i>	40
5.9	Analisi di Total Validator sul sito web <i>LuzzAuto</i>	41

5.10	Analisi di Lighthouse sul sito web <i>LuzzAuto</i>	42
5.11	Pagina HTML base per effettuare i test della modalità guidata	43

Elenco delle tabelle

2.1	Tabella del tracciamento dei requisiti obbligatori	6
2.2	Tabella del tracciamento dei requisiti desiderabili	6
2.3	Tabella del tracciamento dei requisiti facoltativi	6
3.1	Confronto modelli Ollama utilizzati	14
5.1	Tabella riassuntiva analisi <i>SudokuWorld</i> tramite <i>SviluppAbile</i>	36
5.2	Tabella riassuntiva analisi <i>E-lixirium</i> tramite <i>SviluppAbile</i>	39
5.3	Tabella riassuntiva analisi <i>BookOverflow</i> tramite <i>SviluppAbile</i>	41
5.4	Tabella riassuntiva analisi <i>LuzzAuto</i> tramite <i>SviluppAbile</i>	42

Capitolo 1

Introduzione

L'accessibilità web rappresenta un aspetto fondamentale per garantire che tutte le persone, indipendentemente dalle loro abilità o disabilità, possano utilizzare i contenuti digitali in modo efficace. Le linee guida [WCAG_G](#) (*Web Content Accessibility Guidelines*) sono uno standard internazionale, esse definiscono i criteri tecnici per migliorare l'accessibilità dei siti web, intervenendo su aspetti quali la struttura semantica, la navigazione tramite tastiera, il contrasto cromatico dei colori e la compatibilità con tecnologie assistive.

Un sito accessibile non solo migliora l'esperienza d'uso per persone con disabilità visive, motorie o cognitive, ma estende anche la fruibilità a un pubblico più ampio, contribuendo a un web più inclusivo e universale.

Nonostante ciò, spesso la realizzazione pratica di siti accessibili incontra difficoltà dovute a scarsa conoscenza delle best-practices dello sviluppo web accessibile, delle normative in questione e della scarsa diffusione di strumenti automatizzati efficaci.

1.1 L'idea del progetto

Il progetto sviluppato durante il mio stage si inserisce all'interno di un'iniziativa molto più ampia intitolata *“Supporting Accessibility Auditing and HTML Validator using Large Language Models”* a cui partecipano e collaborano docenti e stagisti dell'Università di Padova e dell'Università di Bologna.

Tale progetto nasce dall'esigenza di affrontare il problema dell'accessibilità web, diritto fondamentale per tutti i cittadini (in particolare per le persone con disabilità) che devono poter accedere alle informazioni sul web senza barriere.

Nonostante le normative nazionali e internazionali (come la *Direttiva Europea sull'Accessibilità Web* e l' *European Accessibility Act*) impongano requisiti chiari, una buona

parte dei siti web presenta ancora numerose criticità di accessibilità. [17]

In questo contesto, il progetto mira a valutare, testare e sfruttare le capacità dei *Large Language Models* (LLM_G) per supportare l'audit dell'accessibilità e la validazione del codice $HTML_G$.

L'obiettivo finale è sviluppare strumenti innovativi che utilizzino modelli di *intelligenza artificiale* $_G$, come $ChatGPT_G$, per fornire un supporto interattivo agli sviluppatori, aiutandoli a identificare e correggere problematiche di accessibilità in modo più efficace e comprensibile rispetto ai metodi tradizionali. Attraverso questa integrazione, si intende migliorare la qualità e soprattutto la chiarezza dei risultati e favorire una cultura più diffusa sull'accessibilità digitale.

Inoltre, si vuole anche valutare se gli LLM siano effettivamente in grado di svolgere questo tipo di lavoro.

L'estensione "*SviluppAbile*" è un primo esempio di strumento per lo sviluppo guidato di pagine web accessibili. Essa nasce dall'esigenza di supportare gli sviluppatori web nel creare pagine accessibili in modo semplice e interattivo, sfruttando le potenzialità dell'*intelligenza artificiale* $_G$.

L'estensione $Chrome-based_G$ sviluppata offre due modalità principali:

- una modalità di analisi assistita, che permette di ispezionare il DOM_G di una pagina web e di porre domande specifiche sull'accessibilità, ottenendo risposte chiare e contestualizzate;
- una modalità di sviluppo guidato, in cui l'utente riceve suggerimenti di codice accessibile in tempo reale, visualizzati in una colonna centrale e pronti per essere copiati o scaricati.

Questo duplice approccio consente di integrare nel flusso di lavoro quotidiano degli sviluppatori un valido supporto basato su AI_G , con l'obiettivo di facilitare il rispetto delle linee guida $WCAG_G$ e migliorare la qualità complessiva del codice.

1.2 Analisi delle soluzioni già presenti

Sul mercato esistono diversi strumenti e *plugin*_G dedicati alla verifica dell'accessibilità delle pagine web, come Total Validator (vedi paragrafo 3.2.5), WAVE (vedi paragrafo 3.2.6) e Lighthouse (vedi paragrafo 3.2.7), che offrono principalmente funzionalità di scansione automatica e generazione di report.

Questi strumenti, tuttavia, forniscono spesso una panoramica statica dei problemi riscontrati; indicano chiaramente dove si trova l'errore, ma i risultati sono generalmente formulati in modo formale e destinati ad un esperto di accessibilità. Di conseguenza, l'utente non specialista deve interpretare autonomamente le informazioni, con il rischio di applicare soluzioni non sempre pienamente conformi alle linee guida.

Alcuni software integrano suggerimenti o tutorial, ma raramente utilizzano modelli di *intelligenza artificiale*_G in grado di interagire con lo sviluppatore in linguaggio naturale, rispondendo a domande specifiche o guidandolo direttamente nella scrittura del codice.

“SviluppAbile” si distingue per l'integrazione di una chat *IA*_G che funge da assistente personale, e per la duplice modalità operativa che combina l'analisi in tempo reale con un supporto diretto allo sviluppo, colmando così una lacuna importante nelle soluzioni attualmente disponibili.

1.3 Organizzazione del testo

Il documento è diviso in sei capitoli e illustra in maniera dettagliata l'esperienza di stage svolta.

Il [secondo capitolo](#) illustra le informazioni raccolte in fase di analisi del progetto tramite requisiti e casi d'uso.

Il [terzo capitolo](#) approfondisce le tecnologie e gli strumenti utilizzati per la realizzazione del progetto.

Il [quarto capitolo](#) descrive lo sviluppo dell'estensione, evidenziando le scelte progettuali e le soluzioni implementative.

Il [quinto capitolo](#) presenta i test effettuati, volti a valutare l'effettiva utilità dell'estensione rispetto agli strumenti tradizionali di validazione del codice accessibile.

Il [sesto capitolo](#) riassume i risultati ottenuti e le possibili evoluzioni future del progetto.

Riguardo la stesura del testo, relativamente al documento sono state adottate le seguenti convenzioni tipografiche:

- Gli acronimi, le abbreviazioni e i termini ambigui o di uso non comune menzionati vengono definiti nel glossario, situato alla fine del presente documento;
- Per i termini riportati nel glossario viene utilizzata la seguente nomenclatura: *Application Program Interface***G**;
- I termini in lingua straniera o facenti parti del gergo tecnico sono evidenziati con il carattere *corsivo*;
- Gli esempi di codice, le domande poste all'IA e le righe di codice utilizzano il formato `monospace`.

Capitolo 2

Analisi dei requisiti

2.1 Obiettivo del progetto

L'obiettivo principale del progetto è la realizzazione di un'estensione web interattiva con chatbot integrato, pensata per supportare gli sviluppatori nell'individuazione e nella correzione degli errori di accessibilità presenti nelle pagine web.

Il progetto si propone di rispondere alle seguenti esigenze:

- Fornire un linguaggio chiaro e facilmente comprensibile, anche per chi non ha conoscenze approfondite delle linee guida di accessibilità;
- Offrire un supporto immediato e contestuale durante lo sviluppo del codice;
- Facilitare il miglioramento della qualità e dell'accessibilità dei siti web, promuovendo buone pratiche di progettazione inclusiva.

2.2 Casi d'uso

2.3 Tracciamento dei requisiti

Dall'analisi dei requisiti e degli UC effettuata sono emersi dei requisiti di diverso tipo, ai quali è stato associato un codice identificativo per distinguerli. Si farà riferimento ai requisiti secondo la seguente classificazione:

- **RO** per i requisiti obbligatori, vincolanti in quanto obiettivo primario richiesto dal committente;
- **RD** per i requisiti desiderabili, non vincolanti o strettamente necessari, ma dal riconoscibile valore aggiunto;

- **RF** per i requisiti facoltativi, rappresentanti valore aggiunto non strettamente competitivo.

Le sigle precedentemente indicate saranno seguite da un trattino e da una coppia sequenziale di numeri, per identificare il singolo requisito in maniera univoca.

2.3.1 Requisiti obbligatori

Tabella 2.1: Tabella del tracciamento dei requisiti obbligatori

Requisito	Descrizione	Fonti
RO-01	xx	UC xx
RO-02	xx	UC xx

2.3.2 Requisiti desiderabili

Tabella 2.2: Tabella del tracciamento dei requisiti desiderabili

Requisito	Descrizione	Fonti
RD-01	xx	UC xx
RD-02	xx	UC xx

2.3.3 Requisiti facoltativi

Tabella 2.3: Tabella del tracciamento dei requisiti facoltativi

Requisito	Descrizione	Fonti
RF-01	xx	UC xx
RF-02	xx	UC xx

Capitolo 3

Tecnologie

3.1 Linguaggi

3.1.1 HTML

HTML_G (*HyperText Markup Language*) è il linguaggio di marcatura standard utilizzato per strutturare i contenuti delle pagine web. Non si tratta di un linguaggio di programmazione, ma di uno strumento che consente di definire gli elementi presenti su una pagina (come titoli, testi, immagini, link, *form_G*) assegnando loro un significato semantico tramite l'uso di tag.

Introdotta nel 1991 da Tim Berners-Lee, *HTML_G* si è evoluta nel tempo attraverso diverse versioni, fino a diventare uno standard globale supervisionato dal *World Wide Web Consortium* (*W3C_G*).

La struttura di un file *HTML_G* si basa su una serie di elementi, rappresentati attraverso tag, che permettono di definire la natura e la funzione dei contenuti all'interno di una pagina web. Ogni tag descrive una tipologia specifica di contenuto o un comportamento associato, contribuendo all'organizzazione semantica del documento. I tag sono delimitati da parentesi angolari (< >) e, nella maggior parte dei casi, sono utilizzati in coppie: un tag di apertura e uno di chiusura, quest'ultimo contraddistinto da una barra (</tag>). Alcuni elementi, tuttavia, non necessitano di chiusura e sono detti auto-chiudenti, come ad esempio per l'inserimento di immagini, o
 per i ritorni a capo. Questa struttura gerarchica e nidificata consente al *browser_G* di interpretare correttamente i contenuti, garantendo coerenza tra presentazione e significato.

La versione attuale, HTML5 (logo in figura 3.1), è stata rilasciata in modo stabile

nel 2014. HTML5 rappresenta un'evoluzione del linguaggio di *markup*_G con l'obiettivo di ridurre la dipendenza da *plugin*_G esterni, introducendo nuove funzionalità native. Tra le principali novità vi sono gli elementi `<canvas>`, `<video>` e `<audio>`, nuovi tag semantici per strutturare i contenuti (come articoli, intestazioni, sezioni) e controlli avanzati per i *form*_G (email, *URL*_G, numeri, date, ricerca). Vengono inoltre introdotti strumenti per la memorizzazione locale dei dati sul client tramite `localStorage` e `sessionStorage`.



Figura 3.1: Logo HTML5

3.1.2 CSS

*CSS*_G (*Cascading Style Sheets*) è un linguaggio utilizzato per definire la presentazione dei documenti *HTML*_G e *XML*_G. Introdotto nel 1996 da Håkon Wium Lie, consente di separare la struttura dei contenuti dalla loro formattazione, migliorando la chiarezza del codice e facilitandone la manutenzione.

I fogli di stile permettono di specificare, tramite regole composte da selettori, proprietà e valori, l'aspetto degli elementi *HTML*_G: layout, colori, font, margini, spaziature, effetti visivi, animazioni e molto altro. Le regole di stile possono essere inline (tramite tag `<style>` o con attributi `style`) oppure riportate in file esterni `.css` riutilizzabili. La prima soluzione non mantiene però una netta separazione tra struttura e contenuto, non rispettando quindi le best-practice del settore.

L'attuale versione, CSS3 (logo in figura 3.2), è modulare e introduce importanti funzionalità come `flexbox`, `grid`, media query per il responsive design, transizioni, trasformazioni e nuovi selettori.



Figura 3.2: Logo CSS3

3.1.3 Prism.js

Prism.js è una libreria JavaScript leggera ed estensibile progettata per evidenziare la sintassi del codice sorgente in modo chiaro e leggibile, rispettando gli standard moderni del web. Supporta un'ampia gamma di linguaggi di programmazione e di *markup_G*, ed è facilmente personalizzabile tramite temi e *plugin_G*.

Grazie alla sua efficienza e semplicità di integrazione, viene utilizzata in milioni di siti web per migliorare la leggibilità del codice, rendendolo più comprensibile sia a sviluppatori che a utenti. E' disponibile in diverse varianti, sia per il white-mode che per il dark-mode.

Nella mia estensione, Prism.js è stato integrato per colorare il codice sorgente del *DOM_G*, facilitando l'analisi e la comprensione della struttura *HTML_G*.

3.1.4 JavaScript

JavaScript (logo in figura 3.3) è un linguaggio di programmazione dinamico, interpretato ed orientato agli oggetti, progettato originariamente per rendere le pagine web interattive. È stato sviluppato nel 1995 da Brendan Eich per Netscape con il nome LiveScript, e successivamente rinominato in JavaScript per motivi di marketing, pur non avendo legami diretti con il linguaggio Java. La sua standardizzazione è gestita da *ECMA International*, sotto il nome ECMAScript.

Concepito per essere eseguito direttamente all'interno del *browser_G*, JavaScript consente di scrivere *script_G* incorporati nel codice *HTML_G*, eseguibili senza compilazione

al momento del caricamento della pagina. Questi *script_G* permettono di manipolare il *DOM_G* (Document Object Model), reagire agli eventi dell'utente (come click, input da tastiera o movimenti del mouse), modificare dinamicamente il contenuto della pagina e gestire funzionalità come validazioni, messaggi, animazioni, e interazioni *asincrone_G*. Oltre alla manipolazione di elementi visivi, JavaScript permette di sfruttare numerose *API_G* messe a disposizione dal *browser_G*, dalla gestione del mouse e del touch, alla manipolazione delle immagini, fino alla gestione locale dei dati attraverso meccanismi come il `LocalStorage`. Questa versatilità lo rende uno strumento fondamentale per lo sviluppo di applicazioni web moderne.

JavaScript si è evoluto da semplice linguaggio *client-side_G* a tecnologia completa e versatile, oggi utilizzabile anche su *server_G* (ad esempio con *Node.js*) e in ambienti esterni ai *browser_G* grazie all'uso di diversi motori JavaScript i quali permettono l'esecuzione di codice *JS_G* con alte prestazioni, rendendo il linguaggio adatto anche a contesti *backend_G*, applicazioni desktop e mobile.

Oggi JavaScript rappresenta uno dei tre pilastri fondamentali del web, insieme a *HTML_G* e *CSS_G*, ed è completamente integrato con essi. Esistono anche linguaggi alternativi (come TypeScript o CoffeeScript) che vengono compilati in JavaScript, offrendo funzionalità aggiuntive mantenendo la compatibilità con l'ambiente JavaScript standard.



Figura 3.3: Logo JavaScript

3.2 Tecnologie e strumenti

3.2.1 Chrome Extension

Le estensioni di Chrome sono piccoli programmi software che consentono di arricchire e personalizzare il *browser_G*, aggiungendo funzionalità aggiuntive o migliorando quelle già esistenti.

Grazie ad esse è possibile modificare l'interfaccia utente, automatizzare attività ripetitive, integrare servizi esterni e rendere più efficiente la navigazione sul web.

La distribuzione delle estensioni avviene principalmente tramite il *Chrome Web Store*, ma durante le fasi di sviluppo è possibile installarle manualmente utilizzando la modalità sviluppatore disponibile nel *browser_G*.

3.2.1.1 Manifest V3

Manifest V3 (*MV3_G*) è la specifica più recente per la creazione di estensioni per Chrome e altri *browser_G* basati su *Chromium*.

Rispetto alla precedente Manifest V2, l'ultima versione introduce diverse modifiche per migliorare la sicurezza, le prestazioni e la privacy delle estensioni [5].

Questa nuova versione è una risposta alle criticità emerse con il Manifest V2, e introduce cambiamenti strutturali significativi nel modo in cui le estensioni interagiscono con il *browser_G* e le pagine web.

E' importante notare che Manifest V3 non è retrocompatibile con le estensioni V2 senza modifiche sostanziali e che la versione è tuttora in evoluzione, poiché alcune funzionalità sono ancora in fase di implementazione.

Il file `manifest.json` in *MV3_G* continua a rappresentare il cuore dell'estensione, definendo metadati fondamentali come nome, versione, permessi richiesti e *script_G* da eseguire. Tuttavia, rispetto a *MV2_G*, *MV3_G* impone restrizioni più rigide su quali *API_G* possono essere utilizzate e introduce un modello di esecuzione più efficiente e sicuro.

Gli elementi principali di un'estensione basata su Manifest V3 sono:

- **Manifest:** come nelle versioni precedenti, il file `manifest.json` contiene tutte le informazioni necessarie per il funzionamento dell'estensione, inclusi i permessi richiesti. Tra i permessi più rilevanti vi sono:
 - `downloads`: permette all'estensione di avviare e gestire download di file, ad esempio per salvare contenuti generati o analizzati;
 - `scripting`: consente l'esecuzione di *script_G* personalizzati nelle pagine web, utile per analizzare o modificare il *DOM_G*;
 - `activeTab`: garantisce l'accesso temporaneo alla scheda attiva dopo un'interazione dell'utente con l'estensione;
 - `tabs`: fornisce informazioni sulle schede del *browser_G* e permette di interagire con esse, come ottenere *URL_G* o titoli;
 - `storage`: consente di memorizzare e recuperare dati locali, ad esempio impostazioni o risultati di analisi.
- **Service Worker:** in Manifest V3, i tradizionali background *script_G* sono sostituiti da service worker. Questi sono *script_G* che vengono eseguiti in background ma solo quando necessario, rispondendo a eventi come le richieste di rete o azioni dell'utente. A differenza dei background *script_G* di *MV2_G*, i service worker non sono persistenti e vengono sospesi quando inattivi, riducendo così l'utilizzo di risorse e migliorando le prestazioni complessive. I service worker non possono accedere direttamente al *DOM_G* delle pagine, ma comunicano con i content *script_G* tramite messaggi.
- **Content Script:** vengono iniettati direttamente nelle pagine web e possono interagire con il *DOM_G*. In *MV3_G*, anche i content *script_G* sono soggetti a restrizioni più severe per evitare conflitti con il contenuto della pagina e migliorare la sicurezza.

Il Manifest V3 introduce modifiche significative nell’ecosistema delle estensioni per *browser_G*, con effetti sia positivi sia problematici.

Aspetti positivi

Tra i vantaggi più evidenti vi è il blocco del codice remoto, che impedisce alle estensioni di scaricare ed eseguire codice non verificato dopo l’installazione. Questa misura contribuisce a ridurre alcuni rischi di sicurezza, proteggendo gli utenti da esecuzioni di codice potenzialmente dannoso.

Aspetti critici

Il nuovo standard non elimina completamente i rischi: le *API_G* continuano a consentire la raccolta di dati sensibili (come la cronologia di navigazione) lasciando alcune vulnerabilità inalterate.

Dal punto di vista dello sviluppo, *MV3_G* comporta limitazioni importanti: l’*API_G webRequest*, utilizzata per modificare dinamicamente le richieste di rete, è stata sostituita da *declarativeNetRequest*, più rigida e meno flessibile, riducendo le possibilità di innovazione.

Inoltre, le pagine background persistenti vengono sostituite dai service worker, che presentano vincoli sulle *API_G* disponibili e problemi di compatibilità con funzioni avanzate (come *WebSockets_G*, *WebAssembly_G* o la localizzazione delle estensioni).

La migrazione a *MV3_G* si è dimostrata complessa e molte funzionalità di estensioni pre-esistenti rischiano di rompersi o di subire un peggioramento delle prestazioni. Infine, il processo decisionale di Google è stato percepito come scarsamente collaborativo, poiché l’implementazione del nuovo standard è stata imposta senza un reale dialogo con la comunità degli sviluppatori [6].

In sintesi, sebbene il blocco del codice remoto rappresenti un progresso in termini di sicurezza, Manifest V3 introduce restrizioni che limitano innovazione, privacy e performance, portando l’*Electronic Frontier Foundation* a definirlo un atto ostile verso

gli utenti, frutto di una posizione dominante di Google nell'ecosistema delle estensioni web.

3.2.2 Ollama

Ollama (logo in figura 3.4) è una piattaforma che consente di eseguire localmente modelli di *intelligenza artificiale*_G avanzati, sviluppati in collaborazione con OpenAI e altri partner, mantenendo alte prestazioni anche senza l'uso del *cloud computing*_G. Oltre ai modelli gpt-oss-20B e gpt-oss-120B, progettati rispettivamente per scenari a bassa *latenza*_G o per applicazioni generali ad alto livello di ragionamento, Ollama supporta numerosi altri modelli *open weight*_G, tra cui Mistral (utilizzato solo all'inizio a causa delle ridotte capacità del mio pc personale), Llama 3.1:8B e Llama 3.2:3B, che ho utilizzato nel mio progetto. Nella tabella sottostante 3.1 vengono messi a confronto i vari modelli di Ollama utilizzati nei test dell'estensione *SviluppAbile*, sulla base di parametri quali la capacità di ragionamento complesso, la comprensione linguistica, la conoscenza generale, la velocità di risposta e i requisiti hardware.

Tabella 3.1: Confronto modelli Ollama utilizzati

Versione	Llama 3.1:8b	Llama 3.2:3b	Mistral
Ragionamento complesso	Molto elevato, ottimo su coding, Q&A, compiti multilingue complessi	Buono ma inferiore ai modelli più grandi, migliore per compiti rapidi	Limitato rispetto a Llama 8b, pensato per compiti specifici
Comprensione linguistica	Alta precisione e coerenza, anche in testi lunghi	Discreta, ma può generare errori grammaticali o essere meno coerente in testi lunghi	Buona solo in testi brevi e semplici

– continua nella pagina successiva

Tabella 3.1 – continua dalla pagina precedente

Versione:	Llama 3.1:8b	Llama 3.2:3b	Mistral
Conoscenza generale	Ampia copertura di argomenti	Più ridotta per via del minor numero di parametri	Limitata
Velocità di risposta	Più lenta su hardware modesto	Rapida con HW adeguato	Molto rapida
Requisiti hardware	Almeno 8 GB RAM + richiede <i>GPU_G</i> di fascia media/alta	Almeno 4 GB RAM	Almeno 2 GB RAM

La piattaforma integra funzionalità avanzate (function calling, navigazione web integrata, esecuzione di codice Python, output strutturati), accesso completo al processo di ragionamento del modello, regolazione dello sforzo computazionale e possibilità di fine-tuning per personalizzare le prestazioni. Grazie al supporto nativo per la *quantizzazione_G* in formato MXFP4, Ollama riesce a ridurre drasticamente il consumo di memoria, permettendo l'esecuzione di modelli molto grandi anche su sistemi con risorse limitate. La licenza Apache 2.0 garantisce libertà di utilizzo e personalizzazione, mentre l'ottimizzazione per *GPU_G* NVIDIA GeForce RTX e RTX PRO assicura alte prestazioni in locale. .



Figura 3.4: Logo Ollama

3.2.3 GitHub

GitHub (logo in figura 3.5) è una piattaforma di hosting basata su *Git_G*, il sistema di controllo di versione distribuito ideato da Linus Torvalds. Lanciata nel 2008, GitHub si è affermata come uno degli strumenti principali per la collaborazione nello sviluppo

software, consentendo a sviluppatori di tutto il mondo di condividere, modificare e mantenere progetti in modo coordinato.

La piattaforma offre funzionalità avanzate per il versionamento del codice, la gestione dei rami (branching), il tracciamento delle modifiche e la revisione collaborativa tramite pull request.

Oltre a essere uno strumento tecnico, GitHub ha favorito la nascita di una vera e propria comunità *open source*_G, nella quale il codice è accessibile, riutilizzabile e migliorabile da chiunque.

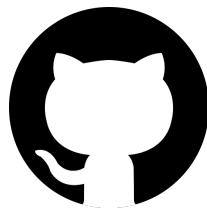


Figura 3.5: Logo GitHub

3.2.4 VSCode

Visual Studio Code (logo in figura 3.6), conosciuto semplicemente come VSCode, è un editor di codice sorgente sviluppato da Microsoft e distribuito gratuitamente. Introdotto nel 2015, ha rapidamente conquistato una posizione di rilievo tra gli strumenti preferiti dagli sviluppatori grazie alla sua combinazione di leggerezza, flessibilità e ricchezza di funzionalità.

Compatibile con i principali sistemi operativi (Windows, macOS e Linux), VSCode supporta evidenziazione della sintassi per numerosi linguaggi, suggerimenti intelligenti e completamento automatico del codice, strumenti di *debugging*_G integrati e gestione del controllo di versione tramite *Git*_G.

Inoltre, grazie a un vasto marketplace di estensioni, può essere facilmente personalizzato per adattarsi a diversi flussi di lavoro e tecnologie, rendendolo un ambiente di sviluppo versatile e ampiamente diffuso.



Figura 3.6: Logo VSCode

3.2.5 Total Validator

Total Validator (logo in figura 3.7) è uno strumento di convalida web che permette di verificare l'accessibilità secondo le linee guida WCAG 2.0, 2.1 e 2.2, la conformità alla Section 508 statunitense e alle specifiche ARIA.

Consente inoltre di controllare la validità del codice HTML rispetto a numerosi standard, incluso l'HTML5, e la correttezza dei CSS in conformità con molte specifiche del W3C.

Tra le sue funzioni principali rientrano anche la rilevazione di link interrotti e la verifica ortografica multilingue. Lo strumento permette di analizzare pagine offline, protette da autenticazione o generate dinamicamente tramite JavaScript, risultando così particolarmente flessibile.

È disponibile per Windows, macOS e Linux e, dal suo lancio nel 2005, è stato adottato da milioni di siti web, comprese istituzioni pubbliche e governative.



Figura 3.7: Logo Total Validator

3.2.6 WAVE

WAVE (*Web Accessibility Evaluation Tool*) è uno strumento sviluppato da WebAIM per supportare la valutazione dell'accessibilità dei siti web (logo in figura 3.8). Con-

sente di individuare automaticamente molte violazioni delle WCAG e, al tempo stesso, facilita l'analisi manuale da parte degli sviluppatori.

È disponibile come servizio online e come estensione per i principali browser, permettendo di testare anche pagine locali o protette. I risultati vengono visualizzati direttamente sulla pagina tramite icone e pannelli che segnalano errori, avvisi e caratteristiche accessibili, fornendo indicazioni utili per le correzioni.

Per contesti più complessi, WAVE offre inoltre un'API che ne consente l'integrazione nei processi di sviluppo e di testing automatizzato.



Figura 3.8: Logo WAVE

3.2.7 Lighthouse

Lighthouse (logo in figura 3.9) è uno strumento open-source sviluppato da Google per valutare la qualità delle pagine web. Esegue controlli automatici su performance, accessibilità, SEO e progressive web app, restituendo report dettagliati con punteggi e suggerimenti pratici.

Si può utilizzare tramite Chrome DevTools, riga di comando (CLI), modulo Node o interfaccia web, consentendo anche audit su pagine protette o locali. Lighthouse quindi supporta gli sviluppatori nel miglioramento della velocità di caricamento, dell'usabilità e della visibilità dei siti.



Figura 3.9: Logo Lighthouse

Capitolo 4

Sviluppo del progetto di stage

4.1 Web design

L'estensione è stata progettata con un approccio *desktop-first_G*, in considerazione del target principale costituito da sviluppatori web che operano prevalentemente su schermi di grandi dimensioni.

Tale scelta consente di privilegiare la chiarezza e l'ampiezza degli spazi di lavoro, garantendo una disposizione ottimale dei pannelli e delle funzionalità principali.

Particolare attenzione è stata posta all'accessibilità cromatica, mediante uno studio accurato dei contrasti tra testo, sfondo ed elementi interattivi, al fine di assicurare leggibilità anche in condizioni visive differenti.

È stata inoltre implementata la possibilità di personalizzare l'esperienza visiva tramite un pulsante dedicato alla selezione della modalità giorno/notte, che permette all'utente di adattare l'interfaccia alle proprie preferenze e alle condizioni ambientali di utilizzo. Nonostante l'approccio iniziale privilegi i dispositivi desktop, il layout rimane responsivo grazie a soluzioni flessibili che mantengono l'usabilità anche su schermi di dimensioni ridotte. Questa scelta assicura un'esperienza coerente ed accessibile in diversi contesti d'uso.

4.2 PoC

L'obiettivo iniziale era la realizzazione di un *Proof of Concept_G* (*PoC_G*) che permettesse di verificare la fattibilità tecnica dell'estensione proposta. In questa fase preliminare, l'attenzione era rivolta principalmente a due aspetti fondamentali: il recupero del codice sorgente della pagina web e l'integrazione con un'*API_G* di *intelligenza artificiale_G*, necessaria per avviare i primi test di analisi e generazione di suggerimenti.

Il *PoC_G* non teneva conto di aspetti come la scalabilità, l'ottimizzazione delle performance o la gestione di casi d'uso complessi, ma si limitava a dimostrare che le funzionalità di base potessero essere effettivamente implementate.

La struttura iniziale era volutamente semplice in quanto conteneva solamente funzioni basilari nei file:

- `script.js`: responsabile dell'avvio dell'estensione;
- `analysis.js`: deputato all'estrazione del codice sorgente della pagina web e alla sua messa a disposizione per ulteriori elaborazioni;
- `service_worker.js`: gestisce le richieste verso il modello di *intelligenza artificiale_G*, inviando il codice recuperato e ricevendo in risposta i suggerimenti generati.

Questa versione sperimentale costituiva una base minima ma solida su cui successivamente è stato possibile costruire le funzionalità avanzate, affinare l'interfaccia e integrare logiche più complesse per la gestione dei risultati.

È importante sottolineare che Chrome, per ragioni di sicurezza, blocca di default l'esecuzione di chiamate esterne da parte delle estensioni, impedendo quindi il corretto funzionamento dell'integrazione con Ollama. Per avviare correttamente l'estensione è necessario aprire Chrome da terminale e disabilitare temporaneamente alcuni vincoli di sicurezza.

Ecco il comando utilizzato:

```
chrome.exe --disable-web-security --user-data-dir="C:_temp_chrome"
```

4.3 Prodotto finale


In questo paragrafo viene illustrato il risultato concreto del progetto: l'estensione web *SviluppAbile* (logo in figura 4.1), uno strumento progettato per supportare gli sviluppatori nell'individuazione e nella correzione degli errori di accessibilità nelle pagine web.

Di seguito, viene descritta l'estensione realizzata e vengono analizzate le funzionalità implementate, mettendo in evidenza l'integrazione con il *chatbot_G* e le modalità di interazione con l'utente.



Figura 4.1: Logo dell'estensione *SviluppAbile*

4.3.1 Guida all'utilizzo

La presente sezione illustra le funzionalità dell'estensione attraverso una dimostrazione pratica guidata, supportata da screenshot dell'interfaccia per mostrare concretamente le modalità di utilizzo. Ogni sottosezione è dedicata a una specifica funzionalità. Si tenga presente che l'estensione è disponibile anche in modalità notte, cliccando l'apposito pulsante in alto a destra .

Si ricorda che, per un corretto funzionamento dell'estensione, è necessario utilizzare il *browser_G* Chrome disabilitando temporaneamente alcuni vincoli di sicurezza (vedi paragrafo 4.2).

4.3.1.1 Avvio dell'estensione

All'avvio, cliccando sull'icona dell'estensione *SviluppAbile* nella barra del *browser_G*, viene visualizzato un popup (figura 4.2) che consente di scegliere tra due modalità operative:

- **Analisi assistita:** visualizza il *DOM_G* della pagina web e mette a disposizione una chat in cui l'utente può porre domande sull'accessibilità e ricevere risposte contestualizzate, con evidenziazione delle porzioni di codice rilevanti;
- **Modalità guidata:** presenta, oltre alla chat, un pannello in cui verranno inseriti frammenti di codice accessibile e scaricabili in formato *HTML_G*.



Figura 4.2: Popup di avvio dell'estensione *SviluppAbile*

Questa scelta iniziale permette all'utente di adattare lo strumento al proprio flusso di lavoro: analizzare passo-passo una pagina già esistente o sviluppare in maniera assistita un nuovo contenuto.

4.3.1.2 Analisi assistita

Nella modalità di analisi assistita (vedi figure 4.3 e 4.4), l'interfaccia dell'estensione si presenta suddivisa in due pannelli principali: sulla sinistra viene visualizzato il *DOM_G* della pagina web analizzata, mentre sulla destra compare la finestra della chat. Quest'ultima, inizialmente vuota, offre già due domande ("*Come posso migliorare l'accessibilità della pagina web?*" e "*Il mio codice rispetta le linee guida WCAG?*"), pensate per orientare l'utente nel primo utilizzo e stimolare un'interazione immediata. Oltre a tali suggerimenti, è disponibile un *form_G* in cui l'utente può inserire manualmente le proprie domande o richieste di chiarimento.

CAPITOLO 4. SVILUPPO DEL PROGETTO DI STAGE

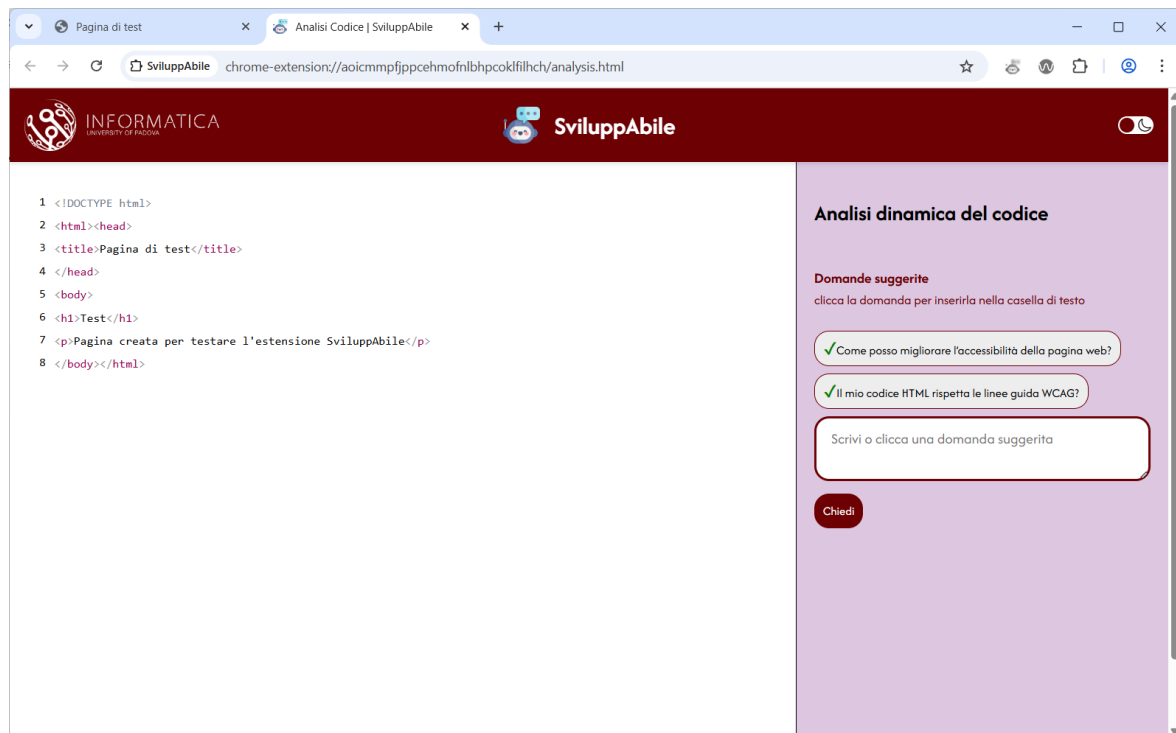


Figura 4.3: Modalità: analisi assistita

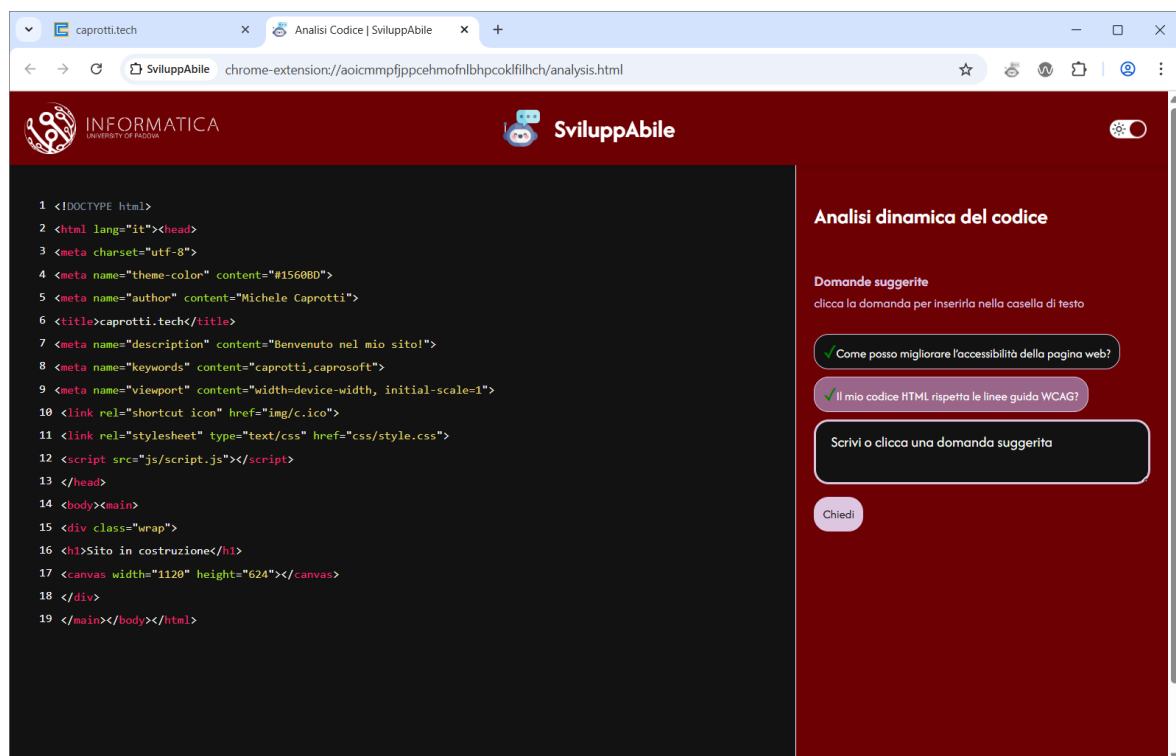


Figura 4.4: Modalità: analisi assistita - modalità notte

L'interazione vera e propria inizia quando l'utente formula la prima domanda: a questo punto il *chatbot_G* genera una risposta in linguaggio naturale, adattata al contesto del *DOM_G* analizzato. Per facilitare la comprensione delle spiegazioni, l'estensione è in grado di evidenziare automaticamente le porzioni di codice rilevanti all'interno del *DOM_G*, così da collegare visivamente l'errore o la soluzione proposta con la parte effettiva di codice interessata.

Ad ogni scambio successivo, il sistema arricchisce la conversazione proponendo una o due nuove domande suggerite, collegate al tema trattato nella risposta precedente. Questa dinamica consente di mantenere la chat scorrevole e guidata, riducendo lo sforzo cognitivo dell'utente e favorendo un approccio progressivo alla comprensione delle problematiche di accessibilità della pagina web (vedi figura 4.5).

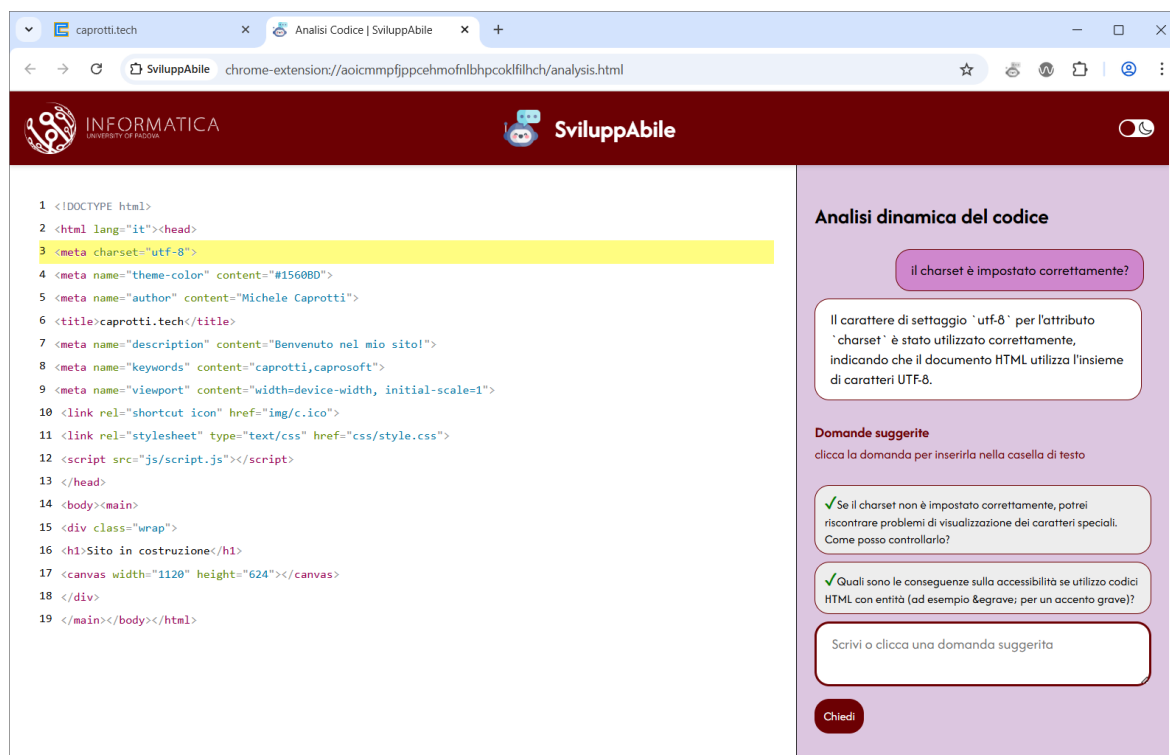


Figura 4.5: Modalità: analisi assistita dopo un'interazione

4.3.1.3 Modalità guidata

La modalità di sviluppo guidato (vedi figure 4.6 e 4.7) si differenzia dall'analisi assistita per la presenza di un'interfaccia composta da tre pannelli distinti. Sulla sinistra rimane visibile il DOM_G della pagina mentre sulla destra è presente la finestra della chat. La novità è costituita dal pannello centrale, dedicato alla visualizzazione dei frammenti di codice suggeriti dal $chatbot_G$.

Inizialmente, quest'area centrale appare vuota e contiene soltanto un messaggio in grigio, con caratteri a richiamo "informatico", che riporta la dicitura **eventuale codice suggerito**. Come nella modalità assistita, anche qui la chat propone due domande iniziali suggerite per avviare l'interazione: *"Come si crea un <head> che contenga tutti gli elementi utili per una pagina accessibile?"* e *"Come rendo accessibili le immagini?"*.

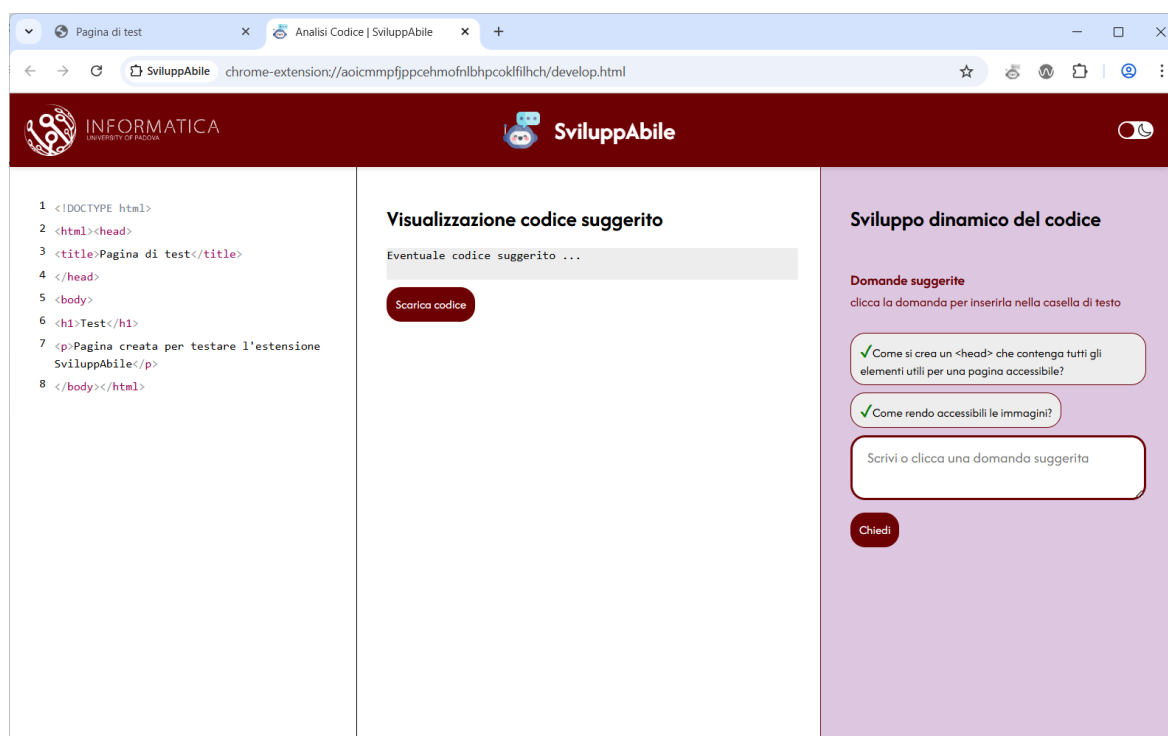


Figura 4.6: Modalità: sviluppo guidato, pagina iniziale

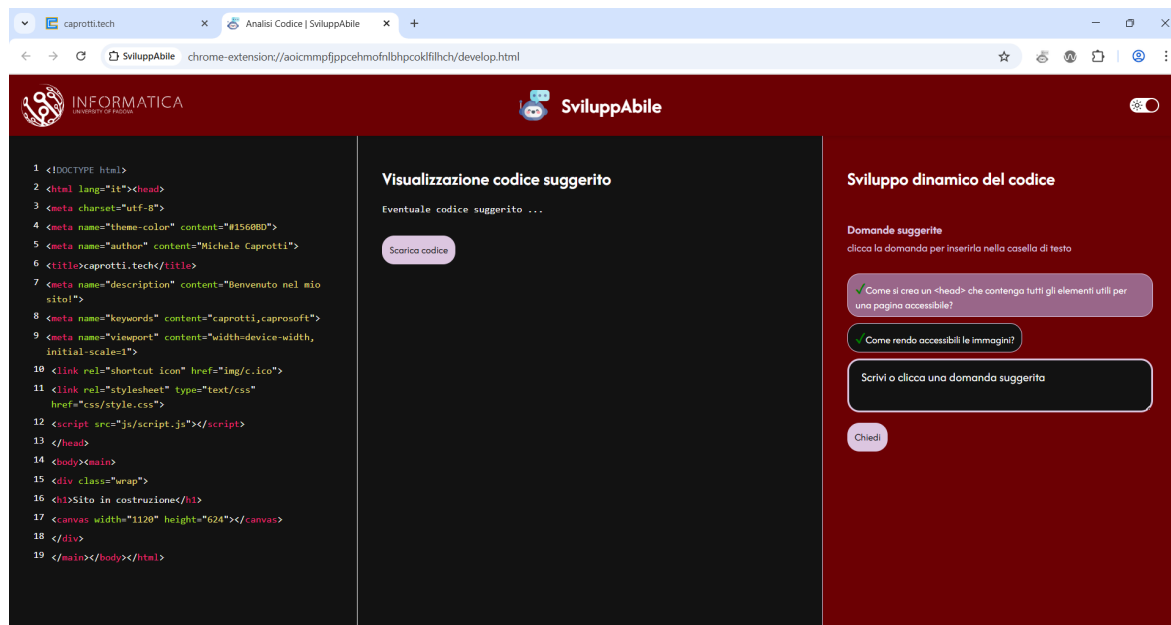


Figura 4.7: Modalità: sviluppo guidato - modalità notte

Quando l'utente seleziona una domanda, il *chatbot_G* non solo produce una risposta testuale, ma genera anche un blocco di codice che viene immediatamente visualizzato nel pannello centrale. Questa caratteristica rende la modalità guidata particolarmente utile in fase di sviluppo, poiché consente di osservare concretamente le soluzioni suggerite e di integrarle facilmente nel proprio progetto.

Per agevolare l'utilizzo pratico, ogni codice prodotto può essere scaricato direttamente tramite l'apposito pulsante "Scarica codice" (vedi figura 4.8). L'estensione genera automaticamente un file *HTML_G* contenente i blocchi di codice proposti, consentendo allo sviluppatore di salvare e riutilizzare le soluzioni in maniera rapida e strutturata.

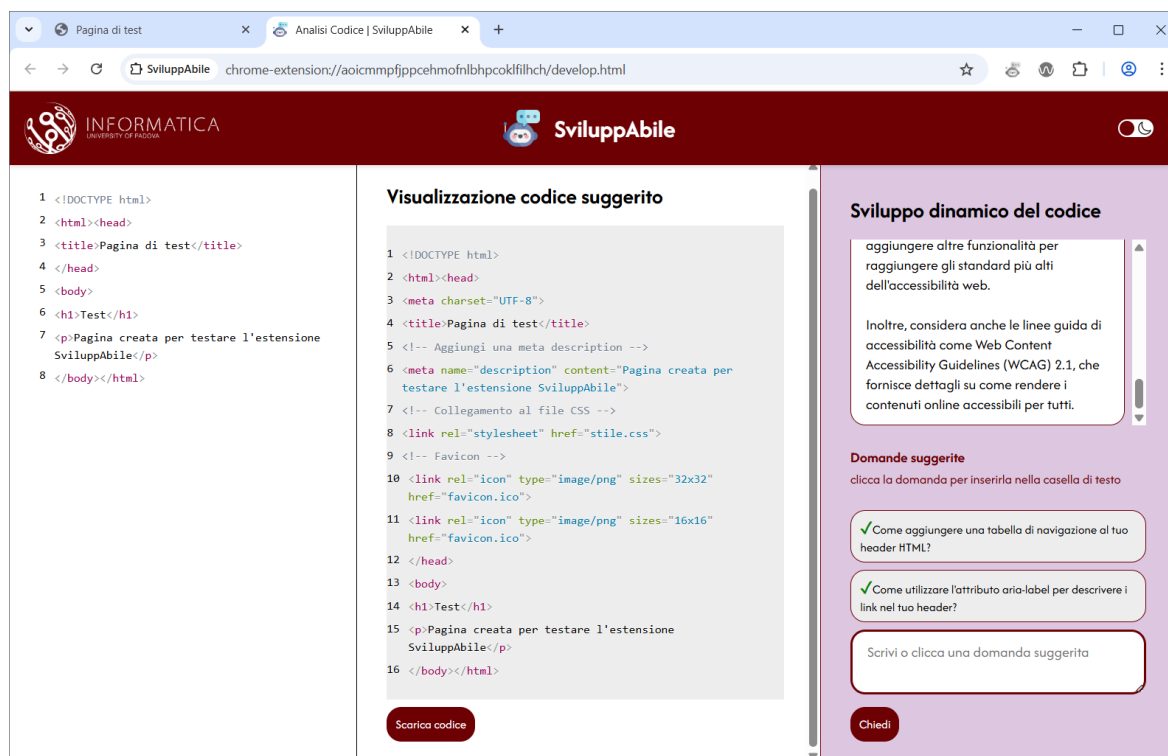


Figura 4.8: Modalità: sviluppo guidato, dopo alcune interazioni

4.3.2 Interazione con l'AI

L'estensione sviluppata prevede un'integrazione diretta con Ollama (vedi paragrafo 3.2.2). Questa scelta garantisce all'utente il pieno controllo sui dati, riducendo i rischi legati alla trasmissione di informazioni sensibili verso servizi esterni e permettendo un utilizzo anche in assenza di connessione Internet stabile. L'interazione con l'*intelligenza artificiale*_G avviene attraverso chiamate HTTP ad un endpoint locale, al quale vengono inviati prompt costruiti dinamicamente in base alle esigenze del flusso operativo.

```

1  async function inviaPrompt(prompt) {
2      const res = await fetch('http://localhost:11434/api/generate', {
3          method: 'POST',
4          headers: { 'Content-Type': 'application/json' },
5          body: JSON.stringify({
6              model: "llama3.1:8b",
7              prompt,

```

```
8      stream: false
9    })
10  });
11  return await res.json();
12 }
```

Listing 4.1: Funzione di interazione con Ollama

Sono stati definiti tre casi d'uso principali per la generazione dei prompt:

- l'invio congiunto del DOM_G della pagina e della domanda dell'utente, utile per ricevere spiegazioni e indicazioni sulle righe che verranno poi evidenziate in quanto utili alla comprensione della risposta;

```
1  const promptPrincipale =
2  'Sei un assistente che analizza codice HTML. Rispondi alla
   domanda in modo chiaro ma conciso, usando al massimo
   5-6 frasi. ' +
3  'Evita ripetizioni o spiegazioni troppo generiche. ' +
4  'Alla fine della risposta, su una nuova riga, scrivi le
   righe eventualmente utilizzate per la risposta nel
   seguente formato:\n\n' +
5  '##RIGHE##\n{"righe": [elenco_di_numeri_di_riga]}\n\n' +
6  'Codice HTML:\n${codice}\n\nDomanda: ${domanda}';
```

Listing 4.2: Prompt per la generazione di risposta e righe da evidenziare

- l'invio della sola domanda per generare ulteriori domande piu' approfondite da consigliare all'utente;

```
1  const promptSuccessiva =
2  'Suggerisci 1 o 2 domande piu' specifiche
   sull'accessibilita' o sull'analisi del codice, ' +
3  'partendo dalla seguente domanda:\n\n' +
4  'Rispondi solo con il seguente formato JSON:\n\n' +
5  '##DOMANDA##\n{ "domande": ["prima domanda", "seconda...",
   "terza..."] }\n\n' +
```

```
6 | 'Domanda iniziale: ${domanda}';
```

Listing 4.3: Prompt per la generazione di domande successive

- l'invio del *DOM_G* insieme alla richiesta di modifica, scenario in cui l'*IA_G* produce sia una risposta argomentata sia un blocco di codice pronto per essere inserito nel pannello centrale della pagina nella modalità di sviluppo guidato.

```
1 | const promptCodice =
2 |   'Sei un assistente che aiuta a rendere accessibile il
   |   codice HTML. ' +
3 |   'Rispondi in massimo 5-6 frasi chiare e tecniche. ' +
4 |   'Se suggerisci del codice, racchiudilo tra i marcatori
   |   \'##CODICE##\' come mostrato di seguito:\n\n\' +
5 |   '##CODICE##\n<codice HTML da inserire o
   |   modificare>\n##FINECODICE##\n\n\' +
6 |   'Codice HTML:\n${codice}\n\nDomanda: ${domanda}';
```

Listing 4.4: Prompt per la generazione di risposta e codice *HTML_G* accessibile

Questa diversificazione consente di mantenere un approccio modulare e adattabile, rendendo l'assistente in grado di rispondere a necessità differenti con un unico modello sottostante.

4.3.3 Filtraggio risposta generata

Un aspetto fondamentale del funzionamento dell'estensione riguarda il filtraggio e la rielaborazione della risposta generata dall'*intelligenza artificiale_G*. Le risposte restituite da Ollama, infatti, non vengono mostrate direttamente all'utente, ma sono sottoposte ad un processo di *parsing_G* e di pulizia.

In primo luogo, l'estensione distingue le diverse tipologie di output attese: la risposta vera e propria alla domanda inserita, le eventuali domande suggerite e gli eventuali blocchi di codice generati da visualizzare e/o scaricare. A tal fine vengono utilizzati marcatori testuali inseriti nel prompt (ad esempio *##DOMANDE##* o *##CODICE##*), che

consentono di individuare con precisione le sezioni rilevanti all'interno della risposta. Una volta ricevuto l'output, funzioni dedicate come `estraiRigheDaRisposta` ed `estraiDomandeSuggerite` applicano espressioni regolari per isolare le parti utili, scartando elementi ridondanti o formattazioni non necessarie.

Il filtraggio consente anche di separare le informazioni in blocchi distinti, in modo che ciascun contenuto possa essere mostrato nella pagina web nel pannello appropriato (ad esempio, suggerimenti testuali nella chat e codice sorgente nel riquadro centrale). Questo approccio riduce il carico cognitivo per l'utente, che non si trova di fronte a una risposta grezza e complessa, ma ad un output strutturato e facilmente navigabile. Inoltre la possibilità di visualizzare alcune righe di codice evidenziate consente una comprensione più immediata del codice sorgente analizzato rendendo più intuitivo il processo di revisione del codice.

4.4 Problematiche riscontrate

Durante lo sviluppo del progetto sono emerse alcune criticità di natura tecnica. In primo luogo, la scelta dell'*IA_G* da integrare si è rivelata complessa: le *API_G* gratuite disponibili online presentavano forti limitazioni legate al numero di token, rendendole inadeguate per un utilizzo continuativo. Successivamente è stata valutata l'adozione di Ollama, la cui installazione, tuttavia, non è risultata possibile sul computer personale a causa delle risorse hardware insufficienti. L'ostacolo è stato superato grazie alla disponibilità di un computer fornito dall'università, che ha consentito l'utilizzo stabile della piattaforma.

Un'ulteriore problematica si è manifestata dopo l'integrazione dell'*IA_G* nell'estensione: l'invio delle richieste tramite la chat restituiva sistematicamente il messaggio "Errore durante l'elaborazione: Risposta vuota dal server". Attraverso un'attenta fase di *debug_G*, supportata dall'inserimento di log per tracciare l'esecuzione, è stato

possibile individuare la causa: non un malfunzionamento dell'*IA_G* o dell'estensione, bensì le restrizioni imposte da Chrome, che limita l'interazione delle estensioni con *API_G* esterne, bloccando di fatto la corretta trasmissione delle richieste.

Il problema è stato infine risolto avviando Chrome da terminale con parametri specifici che disabilitano i blocchi di sicurezza predefiniti, permettendo così all'estensione di comunicare correttamente con l'*IA_G*.

4.5 Problematiche riscontrate

Durante lo sviluppo del progetto sono emerse alcune criticità di natura tecnica. In primo luogo, la scelta dell'*IA_G* da integrare si è rivelata complessa: le *API_G* gratuite disponibili online presentavano forti limitazioni legate al numero di token, rendendole inadeguate per un utilizzo continuativo. Successivamente è stata valutata l'adozione di Ollama, la cui installazione, tuttavia, non è risultata possibile sul computer personale a causa delle risorse hardware insufficienti. L'ostacolo è stato superato grazie alla disponibilità di un computer fornito dall'università, che ha consentito l'utilizzo stabile della piattaforma.

Un'ulteriore problematica si è manifestata dopo l'integrazione dell'*IA_G* nell'estensione: l'invio delle richieste tramite la chat restituiva sistematicamente il messaggio `"Errore durante l'elaborazione: Risposta vuota dal server"`. Attraverso un'attenta fase di *debug_G*, supportata dall'inserimento di log per tracciare l'esecuzione, è stato possibile individuare la causa: non un malfunzionamento dell'*IA_G* o dell'estensione, bensì le restrizioni imposte da Chrome, che limita l'interazione delle estensioni con *API_G* esterne, bloccando di fatto la corretta trasmissione delle richieste. Il problema è stato infine risolto avviando Chrome da terminale con parametri specifici che disabilitano i blocchi di sicurezza predefiniti, permettendo così all'estensione di comunicare correttamente con l'*IA_G*.

Infine, è emersa una limitazione legata alla gestione della memoria dell'*IA_G*: idealmente, il codice sorgente della pagina avrebbe potuto essere caricato una sola volta al momento della scelta della modalità, inviando in seguito soltanto le domande per migliorare tale codice.

Tuttavia, Ollama non dispone di una capacità di memoria sufficiente a mantenere lo stato della conversazione in assenza del ricaricamento completo del *DOM_G*. Ciò comporta la necessità di reinviare l'intero contenuto ad ogni interazione, con un impatto significativo sull'efficienza complessiva.

Capitolo 5

Test

5.1 Test “Analisi assistita”

Per effettuare i test dell'estensione sono stati utilizzati alcuni siti realizzati per l'ultima edizione del concorso *Accattivante Accessibile*. I test hanno preso in considerazione gli errori individuati da TV insieme a quelli segnalati dalla docente referente e sono stati messi a confronto con gli errori rilevati da *SviluppAbile*. Infine, ho confrontato i risultati elaborando un resoconto per ciascun sito analizzato e, successivamente, ho applicato la metrica F1-score per ottenere un report oggettivo.

5.1.1 F1-score

La F_1 -score è una metrica utilizzata per valutare modelli di classificazione, sia binari che multi-classe. Essa combina in un unico valore la *precision* (quanto le predizioni positive sono corrette) e il *recall* (quanti casi positivi reali vengono identificati), calcolati come:

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP}, \quad \text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN}$$

L' F_1 -score è definita come la media armonica di tali valori:

$$F_1 = 2 \cdot \frac{\text{Precision} \cdot \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} = \frac{2 \cdot TP}{2 \cdot TP + FP + FN}$$

Questo significa che nel calcolo verranno utilizzati i tre dati rilevati nel presente lavoro: "errori trovati" come TP (veri positivi), "errori non trovati" come FN (falsi negativi), e FP (falsi positivi). In questo modo, l' F_1 -score riflette in modo equilibrato sia la

capacità di individuare correttamente errori reali, sia il controllo sui falsi allarmi.

L' F_1 -score assume valori compresi tra 0 e 1. Il valore minimo, 0, indica prestazioni pessime (almeno una delle due metriche è nulla), mentre il valore massimo, 1, corrisponde a prestazioni perfette (precisione e recall entrambi pari a 1).

Valori prossimi a 1 indicano quindi un buon funzionamento del sistema, mentre valori vicini a 0 segnalano performance insoddisfacenti.

5.1.2 Sito web: SudokuWorld

Di seguito vengono riportati alcuni dei test effettuati sul sito [SudokuWorld](https://caa.studenti.math.unipd.it/amonaco/Sudokuworld/pages/home.php).

5.1.2.1 Total Validator

Total Validator

Documentation Reference Website Contact Form

Summary report

Start page: <https://caa.studenti.math.unipd.it/amonaco/Sudokuworld/pages/home.php>

Issues: 15 Errors, 1 Probable Error, 1 Warning

To see what's causing these issues, buy [Total Validator Basic](#) or [Total Validator Pro](#)

Summary Issues Page

15 Errors

2 WCAG2 AA

2 E913 - SC 2.4.6: Form control labels must be unique. Use unique labels so that users can distinguish between form controls on the same page when read out aloud. Alternatively, place them within different <fieldset> with unique <legend> labels, because the legend text is read out along with the label text. See [WCAG2 Success Criterion 2.4.6](#).

13 Spell Check

13 E31 - Mistakes found. Words that are not found in the dictionary are highlighted followed by a list of suggested replacements in brackets. To correct this warning replace the word with one of the suggestions or an alternative word. If you believe the word to be correct then with Total Validator Pro you can add the word to a personal dictionary by clicking on it as described in the documentation.

1 Probable Error

1 WCAG2 A

1 P883 - SC 1.3.1: Nest headings properly (H1 > H2 > H3). Heading elements must be ordered properly. For example, H2 elements should follow H1 elements, H3 elements should follow H2 elements, etc. Developers should not skip levels or use headings for presentation effects. See [WCAG2 Failure F43](#).

1 Warning

1 WCAG2 A

Figura 5.1: Analisi di Total Validator sul sito web *SudokuWorld*

Come visibile nella figura 5.1 è possibile vedere che lo strumento TV_G trova ben 15 errori di accessibilità.

Gli errori principali sono:

- E913 - SC 2.4.6: Le etichette dei controlli dei *form* devono essere univoche. Utilizzare etichette univoche consente agli utenti di distinguere i vari controlli presenti sulla stessa pagina quando vengono letti da uno screen reader. In alternativa, è possibile inserirli all'interno di diversi `<fieldset>` con `<legend>` univoci, poiché il testo del `<legend>` viene letto insieme all'etichetta del controllo. Vedi WCAG2 Success Criterion 2.4.6.
- P883 - SC 1.3.1: Nidificare correttamente le intestazioni ($H1 > H2 > H3$). Gli elementi di intestazione devono essere ordinati in modo gerarchico. Ad esempio, un elemento H2 dovrebbe seguire un H1, un H3 dovrebbe seguire un H2, e così via. Gli sviluppatori non devono saltare livelli né utilizzare le intestazioni solo per scopi di presentazione. Vedi WCAG2 Failure F43.

5.1.2.2 Lighthouse

Il report generato dallo strumento Lighthouse ha restituito un punteggio di 100/100 nella sezione Accessibility, indicando che, secondo le metriche automatiche adottate, non sono stati rilevati errori o problematiche di conformità (vedi figura 5.2).

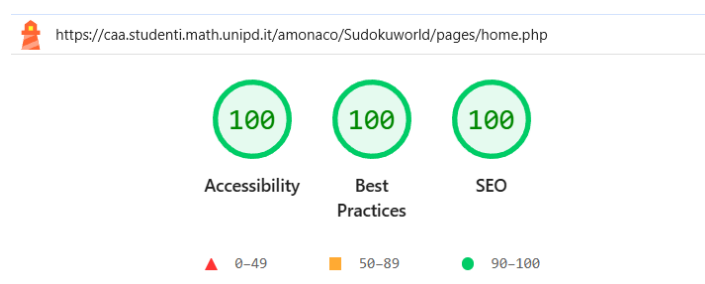


Figura 5.2: Analisi di Lighthouse sul sito web *SudokuWorld*

5.1.2.3 SviluppAbile

5.1.2.4 Resoconto finale

Nella tabella 5.1 vengono riportati i risultati ottenuti utilizzando l'estensione *SviluppAbile*.

Tabella 5.1: Tabella riassuntiva analisi *SudokuWorld* tramite *SviluppAbile*

Errori trovati	Errori non trovati	Falsi positivi
	•	•
X	X	X

5.1.3 Sito web: Dolce Risveglio

Di seguito vengono riportati alcuni dei test effettuati sul sito web [DolceRisveglio](#).

5.1.3.1 Total Validator

The screenshot shows the Total Validator interface. At the top, there's a header with the TV logo and 'Total Validator' text, followed by navigation links: 'Documentation', 'Reference', 'Website', and 'Contact Form'. Below this is a 'Summary report' section. It states the start page is 'https://caa.studenti.math.unipd.it/gchecchi/' and lists 'Issues: 2 Errors, 1 Warning'. A note suggests buying 'Total Validator Basic' or 'Total Validator Pro' to see what's causing the issues. There are three tabs: 'Summary' (selected), 'Issues', and 'Page'. Under the 'Summary' tab, there are two main sections: '2 Errors' and '1 Warning'. The '2 Errors' section lists: '2 Link' with details for 'E400 - Bad Request' and 'E999 - Check your web server logs'. The '1 Warning' section lists: '1 WCAG2 A' with details for 'W877 - SC 1.3.1: Distinguish between navigation groups using an ARIA label'.

Figura 5.3: Analisi di Total Validator sul sito web *Dolce Risveglio*

L'analisi (vedi figura 5.3) ha rilevato 2 errori relativi ai link e 1 warning. Gli errori comprendono un URL con richiesta non valida e un problema lato server da verificare

nei log. Il warning riguarda la necessità di distinguere tra più aree di navigazione tramite un’etichetta ARIA. Questi risultati suggeriscono di controllare manualmente i link problematici e di migliorare l’accessibilità delle barre di navigazione.

5.1.3.2 Lighthouse

Il report ha restituito un punteggio di 100/100 nella sezione *Accessibility*, indicando che, secondo le metriche automatiche adottate, non sono stati rilevati errori o problematiche di conformità (vedi figura 5.4).

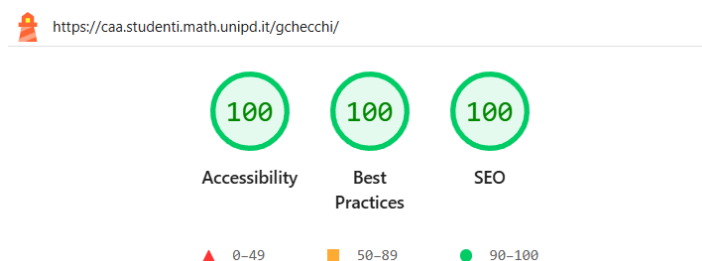


Figura 5.4: Analisi di Lighthouse sul sito web *Dolce Risveglio*

5.1.3.3 SviluppAbile

5.1.4 Sito web: E-lixirium

Di seguito vengono riportati alcuni dei test effettuati sul sito web [E-lixirium](#).

5.1.4.1 Total Validator

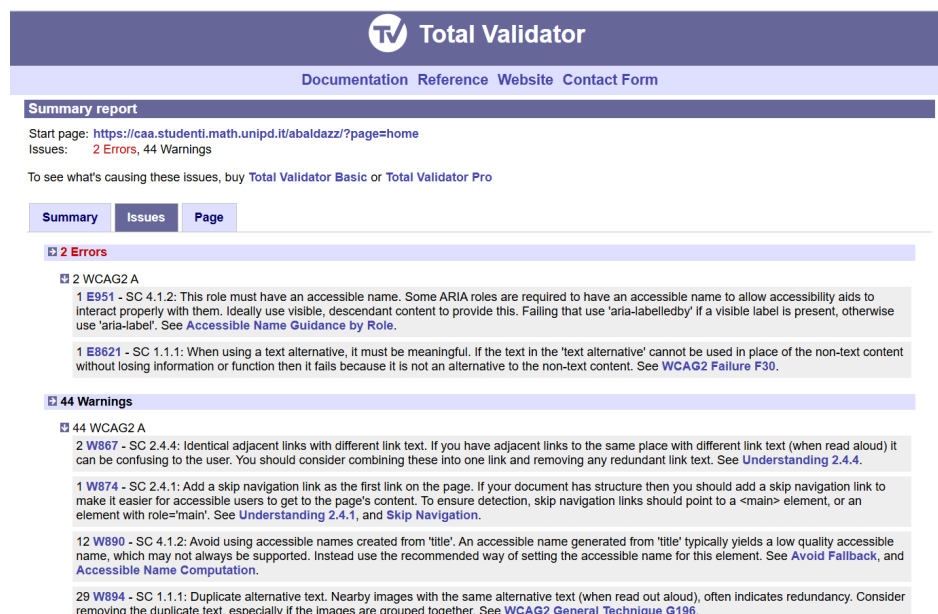


Figura 5.5: Analisi di Total Validator sul sito web *E-lixirium*

L'analisi (vedi figura 5.5) ha rilevato 2 errori principali e 44 warning. Gli errori riguardano principalmente elementi con ruoli ARIA a cui non è stato associato un nome accessibile e testi alternativi non significativi. Tra i warning, i più frequenti sono duplicazioni di testo alternativo per immagini, nomi accessibili generati da attributi `title`, link adiacenti con testi diversi e l'assenza di link di navigazione rapida.

5.1.4.2 Lighthouse

Il report ha restituito un punteggio di 96/100 nella sezione *Accessibility* (vedi figura 5.6). Il problema segnalato riguarda il contrasto insufficiente tra colori di sfondo e primo piano, che può ridurre la leggibilità per alcuni utenti.

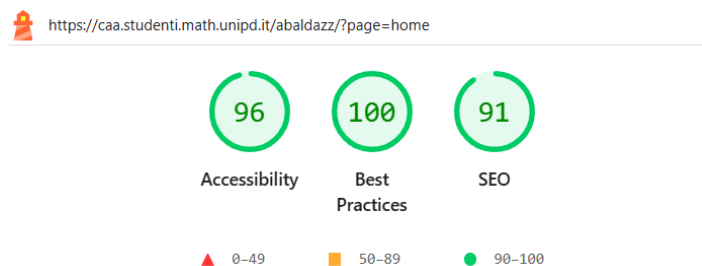


Figura 5.6: Analisi di Lighthouse sul sito web *E-lixirium*

5.1.4.3 SviluppAbile

Nella tabella 5.2 vengono riportati i risultati ottenuti utilizzando l'estensione *SviluppAbile*.

Tabella 5.2: Tabella riassuntiva analisi *E-lixirium* tramite *SviluppAbile*

Errori trovati	Errori non trovati	Falsi positivi
	•	•
x	x	x

L' F_1 -score calcolato è $F_1 = xx$,

5.1.5 Sito web: Corsa Ideale

Di seguito vengono riportati alcuni dei test effettuati sul sito web [Corsa Ideale](#).

5.1.6 Sito web: BookOverflow

Di seguito vengono riportati alcuni dei test effettuati sul sito [BookOverflow](#), sito web vincitore del concorso.

5.1.6.1 Total Validator

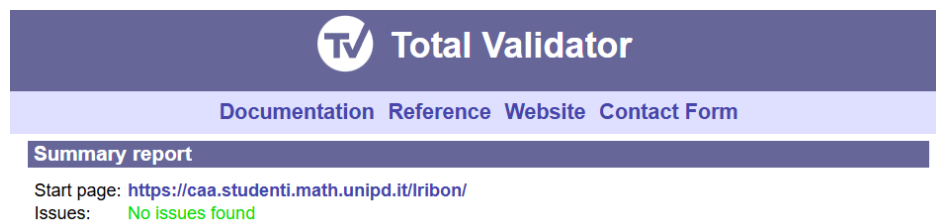


Figura 5.7: Analisi di Total Validator sul sito web *BookOverflow*

Come visibile in figura 5.7, non vi sono errori di accessibilità.

5.1.6.2 Lighthouse

Il report ha restituito un punteggio di 100/100 nella sezione *Accessibility*, indicando che, secondo le metriche automatiche adottate, non sono stati rilevati errori o problematiche di accessibilità (vedi figura 5.8).

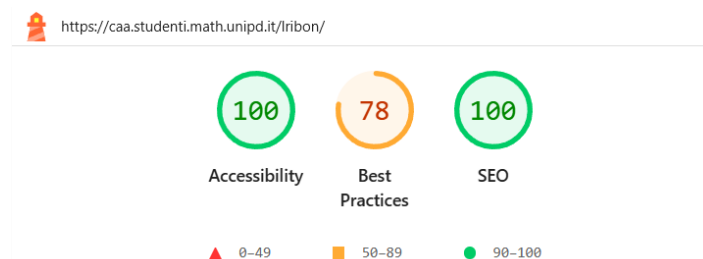


Figura 5.8: Analisi di Lighthouse sul sito web *BookOverflow*

5.1.6.3 SviluppAbile

Nella tabella 5.3 vengono riportati i risultati ottenuti utilizzando l'estensione *SviluppAbile*.

Tabella 5.3: Tabella riassuntiva analisi *BookOverflow* tramite *SviluppAbile*

Errori trovati	Errori non trovati	Falsi positivi
	<ul style="list-style-type: none"> • Contrasto insufficiente link visitati/non 	<ul style="list-style-type: none"> • Tabindex non adeguato
0	1	1

L' F_1 -score calcolato è $F_1 = 0$, valore che indica prestazioni non soddisfacenti in questo caso specifico. Ciò evidenzia la necessità di ulteriori miglioramenti nell'identificazione degli errori, soprattutto per quanto riguarda i falsi positivi.

5.1.7 Sito web: LuzzAuto

Di seguito vengono riportati alcuni dei test effettuati sul sito web [LuzzAuto](#).

5.1.7.1 Total Validator

Total Validator

Documentation Reference Website Contact Form

Summary report

Start page: <https://caa.studenti.math.unipd.it/eartusi/listino.php>

Issues: 2 Errors, 10 Warnings

To see what's causing these issues, buy [Total Validator Basic](#) or [Total Validator Pro](#)

Summary **Issues** **Page**

2 Errors

- 1 WCAG2 A
 - 1 E874 - SC 3.3.2: The matching <label> text must appear before the control. Associate labels properly with their controls. See [WCAG2 HTML Technique H44](#).
- 1 HTML
 - 1 E6091 - A tag or some content is not allowed. There are strict rules as to what tags may be nested within others, as well as the order and number of tags allowed. This error may also be caused by incorrectly nesting tags, missing end tags, or similar structural issues. So if it is not obvious what is wrong, fix any structural issues first.

10 Warnings

- 9 WCAG2 A
 - 9 W866 - SC 1.1.1: The text alternative is too long. The text alternative is at least 75 characters long. For long descriptions use the 'aria-describedby' attribute, a separate descriptive link, or an image map. See [WCAG2 HTML Technique H45](#).
- 1 Link
 - 1 W52 - The link is to mixed content from a secure page. Browsers will warn about access to this resource. You should serve this resource using HTTPS.

Figura 5.9: Analisi di Total Validator sul sito web *LuzzAuto*

Nella pagina `home.php` non sono presenti errori di accessibilità, ma solamente un "Warning" riguardante testi alternativi (`alt`) troppo lunghi. Nella pagina `listino.php` (come visibile in figura 5.9), sono segnalati due errori principali: uno relativo all'associazione corretta delle etichette ai rispettivi controlli e uno di struttura HTML, dovuto all'uso di tag non consentiti o a un errato annidamento degli stessi.

5.1.7.2 Lighthouse

Il report ha restituito un punteggio di 100/100 nella sezione *Accessibility*, indicando che, secondo le metriche automatiche adottate, non sono stati rilevati errori o problematiche di accessibilità (vedi figura 5.10).

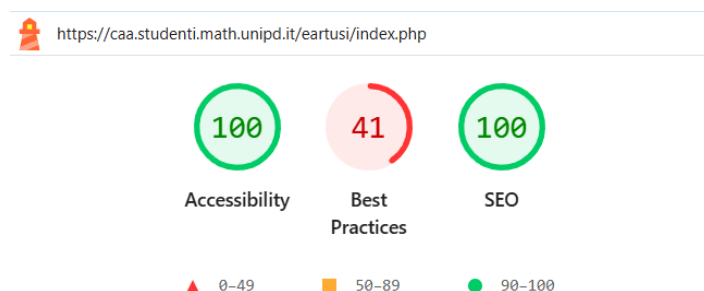


Figura 5.10: Analisi di Lighthouse sul sito web *LuzzAuto*

5.1.7.3 SviluppAbile

Nella tabella 5.4 vengono riportati i risultati ottenuti utilizzando l'estensione *SviluppAbile*.

Tabella 5.4: Tabella riassuntiva analisi *LuzzAuto* tramite *SviluppAbile*

Errori trovati	Errori non trovati	Falsi positivi
<ul style="list-style-type: none"> Le etichette dei controlli non sono state associate correttamente ai rispettivi elementi. 	<ul style="list-style-type: none"> Tag o contenuto non consentito. 	

– continua nella pagina successiva

Tabella 5.4 – continua dalla pagina precedente

Errori trovati	Errori non trovati	Falsi positivi
1	1	0

L' F_1 -score calcolato è $F_1 \approx 0.67$, un valore intermedio che evidenzia un discreto equilibrio tra errori rilevati e mancati. Pur non trattandosi di un risultato ottimale, esso mostra la capacità dell'estensione di individuare correttamente una parte significativa dei problemi, lasciando spazio a ulteriori miglioramenti.

5.2 Test “Modalità guidata”

Per effettuare i test utili a dimostrare l'efficacia di *SviluppAbile*, ho creato una semplice pagina *HTML_G* (vedi figura 5.11).

```
1 <!DOCTYPE html>
2 <html><head>
3 <title>Pagina di test</title>
4 </head>
5 <body>
6 <h1>Test</h1>
7 <p>Pagina creata per testare l'estensione
  SviluppAbile</p>
8 </body></html>
```

Figura 5.11: Pagina HTML base per effettuare i test della modalità guidata

Come si crea un `<head>` che contenga tutti gli elementi utili per una pagina accessibile?

Per creare un head accessibile, assicurati di includere i seguenti elementi:

1. ****Metatag Titolo (title)**:** Utilizzato dal browser come titolo della finestra della pagina.
2. ****Metatag Descrizione (description)**:** Descrive il contenuto della pagina e appare

nella barra degli strumenti del browser e nei risultati dei motori di ricerca.

3. ****Metatag Chiave (keywords)****: Non più importante come in passato, ma puoi utilizzarla se necessario per le ricerche.

Inoltre, assicurati di utilizzare un markup semantico corretto per le sezioni della pagina.

Ad esempio, puoi utilizzare ‘<header>’, ‘<nav>’, ‘<main>’, ‘<section>’, ‘<article>’, ‘<footer>’ in luogo di semplici div.

Infine, assicurati di aggiungere un elemento ‘alt’ a tutte le immagini con una descrizione del contenuto dell’immagine.

CODICE SUGGERITO:

```
1 <head>
2 <title>Pagina di test</title>
3 <meta charset="UTF-8">
4 <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
5 <meta name="description" content="Pagina creata per testare l'estensione
SviluppAbile">
6 <meta name="keywords" content="test,sviluppo accessibile">
7 </head>
```

Come posso ora creare dei paragrafi che rispettino le linee guida BEM?

Per creare paragrafi in base alle linee guida BEM, puoi utilizzare la sintassi seguente:

1. Definisci un classico ‘.block__element’ per il contenuto del paragrafo: ‘class="block__element"’
2. Utilizza ‘.block__element-modificatore’ per aggiungere modificatori: ‘class="block__element-modificatore"’

In questo modo, i paragrafi saranno distinti e facili da identificare tramite la tecnica BEM.

Nota: Assicurati di sostituire ‘-modificatore’ con il nome del modificatore effettivo nel

tuo progetto.

CODICE SUGGERITO:

```
1 <h1 class="block__title">Titolo</h1>
2 <p class="block__text -grande">Testo di esempio con un modificatore per il
  colore.</p>
3 <p class="block__text -rosso">Testo di esempio con altro contenuto.</p>
```

Come posso inserire immagini accessibili?

Inserire immagini accessibili significa garantire che le informazioni contenute nelle immagini siano anche disponibili ai utenti con disabilità visiva. Ciò può essere fatto utilizzando l'attributo 'alt' all'interno dell'elemento '':

In questo esempio, l'attributo 'alt' contiene una descrizione breve e concisa della foto. Se il browser non è in grado di visualizzare l'immagine (ad esempio, se si utilizza un lettore schermo), la descrizione contenuta nell'attributo 'alt' verrà visualizzata al posto dell'immagine.

Inoltre, per immagini decorative o grafici che non contengono informazioni importanti, è consigliabile utilizzare l'attributo 'alt=""', in modo da eliminare il testo alternativo dalla navigazione.

CODICE SUGGERITO:

```
1 
```

Come si crea una table rispettando le linee guida WCAG?

Per creare una tabella accessibile secondo le linee guida WCAG, è importante fornire un'esperienza utente inclusiva e facilitare l'accessibilità a tutte le persone, in particolare alle persone con disabilità visive che utilizzano strumenti di lettura ad alta voce o tastiera. Ecco alcuni passaggi per creare una tabella accessibile:

1. **Istruzioni per l'utilizzo della tabella**: fornire un'introduzione sulle informazioni presentate nella tabella e quali sono le colonne principali, aiutando gli utenti che utilizzano strumenti di lettura ad alta voce.
2. **Tabella semantica con role="presentation" impostato su false**: questo ti permetterà a un assistente di lettura di comprendere il contenuto della tabella e fornirlo correttamente all'utente.

Nota che ogni elemento della tabella (celle, intestazioni) deve avere un id o un attributo aria-*, per fornire una descrizione dell'elemento e aiutare gli utenti con disabilità visive a comprendere il contenuto.

CODICE SUGGERITO:

```
1 <table>
2 <caption>Esempio di tabella accessibile</caption>
3 <thead>
4 <tr role="row">
5 <th scope="col" id="nome">Nome</th>
6 <th scope="col" id="età">Età</th>
7 </tr>
8 </thead>
9 <tbody>
10 <tr role="row">
11 <td headers="nome">Mario Rossi</td>
12 <td headers="età">32 anni</td>
13 </tr>
14 <tr role="row">
15 <td headers="nome">Giovanni Bianchi</td>
16 <td headers="età">35 anni</td>
17 </tr>
```

```
18 </tbody>
```

```
19 </table>
```

Come posso utilizzare gli attributi ARIA per migliorare l'accessibilità degli elementi interattivi?

Gli attributi ARIA (Accessible Rich Internet Applications) sono stati sviluppati per rendere le applicazioni web accessibili a tutti, nonostante eventuali disabilità. Sono utilizzati per aggiungere funzionalità di navigazione e controllo agli elementi interattivi come i bottoni e gli elementi dropdown.

Per migliorare l'accessibilità degli elementi interattivi tramite ARIA, ti suggerisco di utilizzare le seguenti strategie:

1. Utilizza il role di un elemento (ad esempio 'button', 'menuitem') per specificarne la funzione.
2. Aggiungi gli attributi aria-label e aria-describedby per fornire una descrizione dell'elemento interattivo.
3. Utilizza l'attributo aria-haspopup per indicare se un elemento è un menu o una lista.

In questo modo, l'elemento interattivo sarà più facile da navigare e controllare tramite strumenti assistivi come screen reader e mouse navigator.

Per ulteriori informazioni sugli attributi ARIA, ti consiglio di consultare la documentazione ufficiale dell'W3C.

CODICE SUGGERITO:

```
1 <!DOCTYPE html>
```

```
2 <html><head>
```

```
3 <title>Pagina di test</title>
```

```
4 </head>
```

```
5 <body>
```

```
6 <!-- Utilizzo del role e degli attributi ARIA per il bottone -->
```



```
7 <button role="button" aria-label="Clicca per eseguire l'azione"> Esegui azione
</button>
8 <!-- Utilizzo del role e degli attributi ARIA per il menu -->
9 <ul role="menu">
10 <li role="presentation">
11 <a href="#" aria-label="Opzione 1" aria-haspopup="true">Opzione 1</a>
12 <ul role="sottomenu">
13 <li role="presentation"><a href="#" aria-label="Sottopagina 1.1">Sottopagina
1.1</a></li>
14 <li role="presentation"><a href="#" aria-label="Sottopagina 1.2">Sottopagina
1.2</a></li>
15 </ul></li></ul>
16 </body></html>
```

Capitolo 6

Conclusioni

Al termine dello stage, si può affermare che l'obiettivo principale del progetto è stato raggiunto. È stata infatti realizzata un'estensione web, denominata *SviluppAbile*, capace di analizzare le pagine web e assistere gli sviluppatori nell'individuazione e correzione degli errori di accessibilità. L'attività ha richiesto più fasi, tra cui la progettazione dell'architettura dell'estensione, l'implementazione delle diverse funzionalità ed una consistente fase di testing finale.

Particolare attenzione è stata posta all'integrazione del chatbot, concepito per fornire spiegazioni chiare e in linguaggio naturale, così da rendere i contenuti accessibili anche a chi non ha conoscenze avanzate delle linee guida WCAG per l'accessibilità web.

6.1 Raggiungimento degli obiettivi

Il progetto SviluppAbile ha raggiunto pienamente l'obiettivo primario di realizzare uno strumento interattivo per il supporto allo sviluppo accessibile. Sono state implementate con successo le funzionalità principali: la visualizzazione del codice sorgente delle pagine web e la possibilità di interagire con un chatbot integrato per analizzare la pagina web, ricevere chiarimenti e suggerimenti personalizzati.

Un ulteriore traguardo è stato il completamento della modalità guidata, che affianca all'analisi automatica un ambiente di sviluppo interattivo, composto da tre pannelli, in cui l'utente può sperimentare correzioni assistite del codice e scaricare direttamente i blocchi proposti in formato HTML. Questa funzionalità ha permesso di unire l'aspetto correttivo con quello formativo, rendendo lo strumento utile sia come validatore che come supporto didattico.

L'architettura basata esclusivamente su tecnologie web standard, conforme a Manifest V3, ha garantito la compatibilità con i browser moderni e la facilità di distribuzione

dell'estensione. Inoltre, la progettazione modulare e la struttura del codice consentono di estendere le funzionalità in maniera agevole, favorendo futuri sviluppi e aggiornamenti. In sintesi, il sistema ha dimostrato di soddisfare gli obiettivi stabiliti: fornire uno strumento intuitivo, accessibile e formativo, capace di supportare in tempo reale lo sviluppatore nella produzione di pagine web più accessibili.

6.1.1 Misurazione quantitativa dei requisiti soddisfatti

Il confronto con i requisiti inizialmente definiti (vedi paragrafo 2.3) evidenzia quanto segue:

- Requisiti obbligatori: n/n implementati (n%)
- Requisiti desiderabili: n/n soddisfatti (n%)
- Requisiti facoltativi: n/n rispettati (n%)

Quindi il tasso di completamento complessivo è di n/n requisiti (n%).

6.2 Sviluppi futuri

L'estensione web SviluppAbile costituisce una base solida su cui innestare ulteriori miglioramenti: grazie alla struttura modulare, sarà possibile introdurre nuove funzionalità senza compromettere la stabilità del sistema.

Un primo ambito di sviluppo riguarda l'integrazione di modelli di intelligenza artificiale più avanzati (come ChatGPT o sistemi analoghi), in grado di fornire risposte più precise, complete e soprattutto rapide. Questo permetterebbe di aumentare l'affidabilità del chatbot e di garantire un supporto sempre più accurato agli sviluppatori.

Dal punto di vista dell'interfaccia utente, potrebbe essere introdotta una scansione automatica iniziale del DOM, che mostri subito eventuali errori in un pannello dedicato, prendendo spunto da strumenti consolidati come WAVE.

Un'evoluzione significativa riguarda inoltre l'integrazione di tecniche di *Computer Vision*, che consentirebbero di estendere l'analisi anche agli aspetti visivi della pagina, come il contrasto cromatico, la leggibilità dei testi e le proporzioni degli elementi grafici. Altri sviluppi possibili includono il collegamento con validatori esterni (WAVE, Lighthouse), l'introduzione di un versionamento dei suggerimenti generati per facilitare il confronto tra diverse soluzioni e l'ottimizzazione delle prestazioni tramite caching o caricamento progressivo del DOM. In prospettiva, *SviluppAbile* potrebbe evolvere in un vero e proprio laboratorio per l'accessibilità, capace di coniugare analisi automatica, supporto interattivo e verifica visiva, offrendo agli sviluppatori uno strumento ancora più completo e formativo.

6.3 Consuntivo finale

6.4 Competenze acquisite

Il progetto di stage ha rappresentato un'importante occasione di crescita tecnica e professionale, permettendo di acquisire competenze trasversali fondamentali. Dal punto di vista dello sviluppo web, l'esperienza ha consolidato la conoscenza di HTML, sia nella struttura delle pagine che nella gestione degli elementi interattivi, e delle tecniche per produrre codice accessibile e semanticamente corretto. L'uso di strumenti di validazione del codice, come Total Validator, ha permesso di comprendere a fondo le problematiche legate all'accessibilità e di applicare concretamente le linee guida WCAG durante lo sviluppo.

Particolare attenzione è stata posta all'integrazione di funzionalità complesse in un ambiente modulare e compatibile con Manifest V3, comprendendo lo sviluppo di pannelli interattivi, la comunicazione tra script di background e content script e l'uso iniziale delle API di Chrome. L'implementazione del chatbot ha richiesto la selezione di un'IA utilizzabile, la cui scelta è ricaduta su Ollama, nonché la generazione dinamica di do-

mande suggerite, il filtraggio delle risposte prodotte e la sincronizzazione con il codice visualizzato nei pannelli.

Il progetto ha avuto un carattere sperimentale, quindi non tutte le funzionalità da sviluppare erano definite fin dall'inizio; di conseguenza, non tutte le soluzioni ipotizzate sono state realizzabili, soprattutto a causa della complessità tecnica e dei vincoli di tempo. Questa esperienza ha comunque permesso di sviluppare capacità di problem solving, adattamento e gestione autonoma delle priorità, affrontando le difficoltà tipiche della sperimentazione.

Lo stage ha richiesto la gestione autonoma di circa 300 ore, pianificando in modo indipendente le attività giornaliere e settimanali, senza orari prefissati come in un contesto aziendale, e organizzando con cura il lavoro e le priorità per portare avanti l'intero progetto, affrontando così la sfida di un'organizzazione completamente autonoma dei tempi di lavoro.

Infine, il progetto ha permesso di sviluppare un approccio critico all'accessibilità digitale, comprendendo a fondo le linee guida WCAG e le strategie per guidare gli sviluppatori nel miglioramento della qualità dei propri siti.

In sintesi, l'esperienza ha combinato conoscenze teoriche e pratiche, fornendo strumenti concreti per la realizzazione di applicazioni web interattive, performanti e inclusive.

6.5 Valutazione personale

Acronimi e abbreviazioni

AI *Artificial Intelligence*_G. iv, 2

API *Application Program Interface*_G. ii, iv, 10, 11, 13, 19, 30, 31

CSS Cascading Style Sheets. 8, 10

DOM Document Object Model. 2, 9, 10, 12, 21, 22, 24, 25, 28, 29

GPU *Graphics Processing Unit*_G. 15

HTML HyperText Markup Language. 2, 7–10, 21, 26, 29, 38, 42

IA *Intelligenza Artificiale*_G. ii, iv, 3, 29–31

JS JavaScript. 10

LLM *Large Language Model*_G. 2

MV2 Manifest V2. 11, 12

MV3 Manifest V3. 11–13

PoC *Proof of Concept*_G. v, 19, 20

TCP *Transmission Control Protocol*_G. vi

TV Total Validator. 33, 37, 38, 40

URL *Uniform Resource Locator*_G. 8, 12

W3C *World Wide Web Consortium*_G. 7

WCAG Web Content Accessibility Guidelines. 1, 2

XML *Extensible Markup Language*_G. 8

Glossario

API_G in informatica con il termine *Application Programming Interface* (ing. interfaccia di programmazione di un'applicazione) si indicano regole e specifiche per la comunicazione tra *software*.

Tali regole fungono da interfaccia tra i vari *software* e ne facilitano l'interazione, allo stesso modo in cui l'interfaccia utente facilita l'interazione tra uomo e *computer*.

[19] . i, 4

Asincrono non sincrono, che non avviene o si manifesta cioè nel medesimo tempo, o, in senso più tecnico, che manca di sincronismo.

[20] . 10

Backend con il termine "*backend*" si intende la parte non visibile all'utente di un programma, che elabora e gestisce i dati generati dall'interfaccia grafica.

[21] . 10

Browser nel linguaggio informatico, programma di un computer che permette il collegamento alla rete Internet e mediante il quale si può navigare da un sito telematico all'altro.

[22] . iii, 7, 9–13, 21

Chatbot è un software progettato per simulare una conversazione con un essere umano.

[23] . iv, 21, 24–26

ChatGPT implementazione del modello di intelligenza artificiale (*IA_G*) sviluppato da OpenAI, basato sull'architettura GPT-3 (Generative Pre-trained Transformer 3) e progettato per comprendere e generare testo in linguaggio naturale.

[24] . 2

Chrome-based un *browser_G* o software che utilizza la base del codice sorgente del progetto *open-source_G* Chromium, la stessa foundation di Google Chrome. . [iv](#), [2](#)

Client-side in informatica, nell'ambito delle reti di calcolatori, il termine lato client (client-side in inglese) indica le operazioni di elaborazione effettuate da un client in un'architettura client-server.
[\[25\]](#) . [10](#)

Cloud computing la tecnologia che, sotto forma di servizio offerto dal provider al cliente, permette di memorizzare e di elaborare i dati e i programmi di un utente grazie all'utilizzo di risorse hardware o software distribuite in rete.
[\[26\]](#) . [14](#)

Debugging nel linguaggio dell'informatica, operazione di messa a punto di un programma, un'applicazione, ecc., consistente nella ricerca (di norma effettuata dall'elaboratore) e nella correzione (talvolta automatica) degli errori di procedura, relativi al tipo di linguaggio impiegato, che impediscono o rendono difettosa l'elaborazione.
[\[27\]](#) . [16](#), [30](#)

Desktop-first significa progettare il sito web avendo come obiettivo principale l'esperienza su desktop. Sebbene sarebbe facile pensare che il desktop-first sia un approccio ormai superato, in realtà esistono diverse ragioni per cui molti scelgono ancora di partire in grande e poi ridimensionare.
[\[28\]](#) . [19](#)

XML_G in informatica, l'*XML_G* (sigla di *eXtensible Markup Language*, lett. "linguaggio di marcatura estendibile") è un metalinguaggio per la definizione di linguaggi di *markup_G*, ovvero un linguaggio basato su un meccanismo sintattico che consente di definire e controllare il significato degli elementi contenuti in un documento

o in un testo.

[30] . [i](#)

Form in Internet, modulo telematico a disposizione dell'utente per l'inserimento e l'invio di dati.

[31] . [7](#), [8](#), [22](#), [33](#), [37](#), [38](#), [40](#)

GIT è un'applicazione software per il controllo di versione distribuito utilizzabile da interfaccia a riga di comando, creato da Linus Torvalds nel 2005.

[32] . [15](#), [16](#)

GPU_G l'unità di elaborazione grafica (in acronimo **GPU_G**, dall'inglese *Graphics Processing Unit*), è un processore progettato per accelerare la creazione di immagini in un frame buffer, destinato all'output su un dispositivo di visualizzazione.

[33] . [i](#)

Intelligenza Artificiale insieme di studi e tecniche, pertinenti all'informatica, ma prossime alle ricerche di logica matematica e con profonde implicazioni sia filosofiche sia sociali, che mirano alla realizzazione di macchine o programmi in grado di risolvere problemi e di riprodurre attività proprie dell'intelligenza umana o che comunque ne simulino il comportamento.

[34] . [i](#), [iv](#), [2](#), [3](#), [14](#), [19](#), [20](#), [27](#), [29](#)

Latenza in informatica, il tempo impiegato da un'informazione per andare da un'unità all'altra di un sistema, in partic. da un sensore al relativo elaboratore (è detto anche l. di risposta).

[36] . [14](#)

LLM_G con il termine "*Large Language Model*" si intende un algoritmo di **intelligenza artificiale_G** che, processando massivamente una grande quantità di dati, utilizza tecniche di *deep learning* in vari ambiti dell'elaborazione del linguaggio naturale

come la comprensione, la traduzione, la generazione e la previsione di nuovi contenuti.

[35] . i

Markup un linguaggio di *markup* (in italiano linguaggio di marcatura o linguaggio di formattazione) è un insieme di regole che descrivono i meccanismi di rappresentazione (strutturali, semantici, presentazionali) o d’impaginazione di un testo.

[37] . 8, 9

Open source in informatica, software non protetto da copyright, il cui codice sorgente è lasciato alla disponibilità degli utenti e quindi liberamente modificabile.

[38] . iii, 16

Open weight i modelli a peso aperto sono sistemi di *intelligenza artificiale_G* in cui i “pesi” effettivi, i numeri fondamentali che il modello ha appreso durante l’addestramento, sono resi pubblici. Questi pesi sono ciò che guida le previsioni, le risposte e il comportamento generale del modello.

[39] . 14

Parsing analisi morfologica e sintattica di una sequenza.

[18] . 29

Plugin in campo informatico è un programma non autonomo che interagisce con un altro programma per ampliarne o estenderne le funzionalità originarie.

[40] . 3, 8, 9

PoC_G è una realizzazione incompleta o abbozzata (sinopsi) di un determinato progetto o metodo per dimostrare la fattibilità o confermare la validità di alcuni principi o concetti fondamentali. Un esempio tipico è quello di un prototipo.

[41] . i, 19

Quantizzazione in elettronica e nella tecnica delle telecomunicazioni, l'operazione, attuata con un quantizzatore, consistente nel suddividere il campo di variabilità di una grandezza continua in un numero finito di intervalli (definiti a volte «quanti»), in ciascuno dei quali la grandezza è considerata costante e sostituita con un valore rappresentativo.

[42] . 15

Script in informatica, programma o sequenza di istruzioni che viene interpretata o portata a termine da un altro programma.

[43] . 9–12

Server in informatica (con riferimento a una rete di calcolatori), calcolatore che svolge funzioni di servizio per tutti i calcolatori collegati.

[44] . 10

URL_G nel linguaggio informatico, sigla dell'ingl. *Uniform Resource Locator* «localizzatore unico della risorsa (informatica)», indirizzo di un sito web espresso in modo univoco e con una forma utilizzabile dal *browser_G*.

[46] . i

W3C_G il *World Wide Web Consortium*, anche conosciuto come *W3C_G*, è un'organizzazione non governativa internazionale che ha come scopo quello di favorire lo sviluppo di tutte le potenzialità del *World Wide Web_G* e diffondere la cultura dell'accessibilità della Rete.

[50] . i

WebAssembly è uno standard web che definisce un formato binario e un corrispondente formato testuale per la scrittura di codice eseguibile nelle pagine web. Ha lo scopo di abilitare l'esecuzione del codice quasi alla stessa velocità con cui esegue il codice macchina nativo.

[47] . 13

WebSocket è un protocollo che fornisce canali di comunicazione full-duplex (trasmissione bidirezionale simultanea) attraverso una singola connessione TCP_G .

[48] . 13

Bibliografia

Siti

- [1] URL: <https://kinsta.com/it/blog/creare-estensione-chrome/>.
- [2] URL: <https://www.levelaccess.com/resources/must-have-wcag-2-1-checklist/>.
- [3] URL: <https://wcag.it/>.
- [4] URL: <https://www.w3.org/WAI/fundamentals/>.
- [5] URL: <https://developer.chrome.com/docs/extensions/develop/migrate/what-is-mv3?hl=it> (cit. a p. 11).
- [6] URL: <https://www.eff.org/deeplinks/2021/12/googles-manifest-v3-still-hurts-privacy-security-innovation> (cit. a p. 13).
- [7] URL: <https://developer.chrome.com/docs/extensions/develop/migrate/api-calls?hl=it>.
- [8] URL: <https://www.w3schools.com/html/>.
- [9] URL: <https://www.html.it/guide/guida-html/>.
- [10] URL: <https://www.01net.it/le-principali-novita-di-html5/>.
- [11] URL: <https://www.css3.info/>.
- [12] URL: <https://prismjs.com/>.
- [13] URL: <https://ollama.com/blog/gpt-oss>.
- [14] URL: <https://ollama.com/library/mistral>.
- [15] URL: <https://ollama.com/library/llama3>.
- [16] URL: <https://www.microsoft.com/it-it/>.
- [17] URL: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/it/policies/web-accessibility-directive-standards-and-harmonisation> (cit. a p. 2).

- [18] URL: <https://www.treccani.it/vocabolario/parser/> (cit. a p. v).
- [19] *Application Programming Interface*. URL: https://www.treccani.it/enciclopedia/api_%28Lessico-del-XXI-Secolo%29/ (cit. a p. ii).
- [20] *Asincrono*. URL: <https://www.treccani.it/vocabolario/asincrono/> (cit. a p. ii).
- [21] *Backend*. URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Front-end_e_back-end (cit. a p. ii).
- [22] *Browser*. URL: <https://www.treccani.it/vocabolario/browser/> (cit. a p. ii).
- [23] *Chatbot*. URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Chat_bot (cit. a p. ii).
- [24] *ChatGPT*. URL: <https://www.treccani.it/enciclopedia/eol-chatgpt/> (cit. a p. ii).
- [25] *Client-side*. URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Lato_client (cit. a p. iii).
- [26] *Cloud computing*. URL: [https://www.treccani.it/vocabolario/cloud-computing_res-4d54e944-8996-11e8-a7cb-00271042e8d9_\(Neologismi\)/](https://www.treccani.it/vocabolario/cloud-computing_res-4d54e944-8996-11e8-a7cb-00271042e8d9_(Neologismi)/) (cit. a p. iii).
- [27] *Debugging*. URL: <https://www.treccani.it/vocabolario/debugging/> (cit. a p. iii).
- [28] *Desktop-first*. URL: <https://hvdig.co.uk/web-agency/mobile-first-vs-desktop-first> (cit. a p. iii).
- [29] *Document Object Model*. URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Document_Object_Model.
- [30] *eXtensible Markup Language*. URL: <https://it.wikipedia.org/wiki/XML> (cit. a p. iv).
- [31] *Form*. URL: [https://www.treccani.it/vocabolario/form_\(Neologismi\)/](https://www.treccani.it/vocabolario/form_(Neologismi)/) (cit. a p. iv).
- [32] *GIT*. URL: [https://it.wikipedia.org/wiki/Git_\(software\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Git_(software)) (cit. a p. iv).

- [33] *Graphics Processing Unit*. URL: <https://www.treccani.it/vocabolario/url/> (cit. a p. iv).
- [34] *Intelligenza Artificiale*. URL: [https://www.treccani.it/enciclopedia/intelligenza-artificiale_\(Enciclopedia-della-Matematica\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/intelligenza-artificiale_(Enciclopedia-della-Matematica)/) (cit. a p. iv).
- [35] *Large Language Model*. URL: [https://www.treccani.it/vocabolario/neo-modello-linguistico-di-grandi-dimensioni_\(Neologismi\)/](https://www.treccani.it/vocabolario/neo-modello-linguistico-di-grandi-dimensioni_(Neologismi)/) (cit. a p. v).
- [36] *Latenza*. URL: <https://www.treccani.it/vocabolario/latenza/> (cit. a p. iv).
- [37] *Markup*. URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Linguaggio_di_markup (cit. a p. v).
- [38] *Open source*. URL: <https://www.treccani.it/vocabolario/open-source/> (cit. a p. v).
- [39] *Open Weight*. URL: <https://invezz.com/it/notizie/2025/08/05/openai-rilascia-i-modelli-open-weight-cosa-sono-e-perche-cambia-tutto/> (cit. a p. v).
- [40] *Plugin*. URL: [https://it.wikipedia.org/wiki/Plugin_\(informatica\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Plugin_(informatica)) (cit. a p. v).
- [41] *Proof of Concept*. URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Proof_of_concept (cit. a p. v).
- [42] *Quantizzazione*. URL: <https://www.treccani.it/vocabolario/quantizzazione/> (cit. a p. vi).
- [43] *Script*. URL: <https://www.treccani.it/vocabolario/script/> (cit. a p. vi).
- [44] *Server*. URL: <https://www.treccani.it/vocabolario/server/> (cit. a p. vi).
- [45] *Transmission Control Protocol*. URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Transmission_Control_Protocol.

- [46] *Uniform Resource Locator*. URL: <https://www.treccani.it/vocabolario/url/> (cit. a p. vi).
- [47] *WebAssembly*. URL: <https://it.wikipedia.org/wiki/WebAssembly> (cit. a p. vi).
- [48] *WebSocket*. URL: <https://it.wikipedia.org/wiki/WebSocket> (cit. a p. vii).
- [49] *World Wide Web*. URL: https://it.wikipedia.org/wiki/World_Wide_Web.
- [50] *World Wide Web Consortium*. URL: https://it.wikipedia.org/wiki/World_Wide_Web_Consortium (cit. a p. vi).