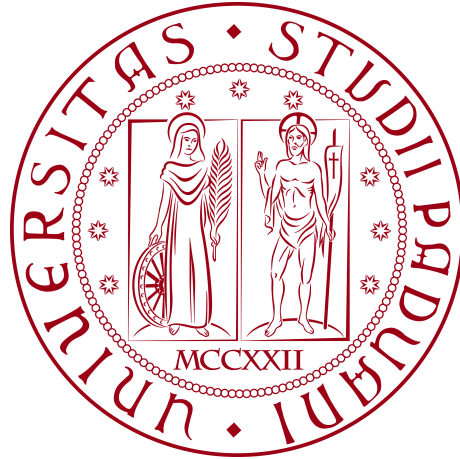


Università degli Studi di Padova

DIPARTIMENTO DI MATEMATICA “TULLIO LEVI-CIVITA”

CORSO DI LAUREA IN INFORMATICA



**Ottimizzazione della produzione in una sala
stampa 3D: programmazione a vincoli e Google
OR-Tools.**

Tesi di laurea triennale

Relatrice

Prof.ssa Losiouk Eleonora

Laureando

Mazzotti Matteo

Matricola 2068245

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

Ringraziamenti

Desidero esprimere la mia gratitudine alla professoressa Losiouk Eleonora per l'aiuto e il sostegno che mi ha dato durante la stesura dell'elaborato.

Vorrei anche ringraziare, con affetto, i miei genitori per il loro sostegno, il grande aiuto e la loro presenza in ogni momento durante gli anni di studio.

Desidero poi ringraziare i miei amici per i bellissimi anni trascorsi insieme e le mille avventure vissute.

Padova, Dicembre 2025

Mazzotti Matteo

Sommario

L'azienda Spazio Dev dispone di una sala stampa 3D la cui pianificazione manuale della produzione richiede un notevole tempo operativo. Il presente lavoro descrive lo sviluppo di un sistema automatizzato, basato sulla programmazione a vincoli e sull'utilizzo di Google OR-Tools (CP-SAT), in grado di proporre all'operatore una coda di stampa ottimizzata secondo le buone pratiche aziendali. Il sistema, integrato con il software gestionale esistente, costituisce una soluzione concreta al problema della pianificazione manuale, contribuendo a migliorare la produttività della sala stampa e a ottimizzare l'impiego delle risorse.

Indice

Acronimi e abbreviazioni	xiii
Glossario	xiv
1 Introduzione	1
1.1 L'azienda	1
1.1.1 Mugalab	1
1.2 Il progetto	2
1.2.1 L'idea	2
1.2.2 Motivazioni e problematiche attuali	3
1.3 Organizzazione del testo	3
2 Il contesto aziendale	5
2.1 Sviluppo software	5
2.1.1 Version Control System	5
2.1.2 Modello di lavoro agile	7
2.1.3 Issue Tracking System	8
2.1.4 Strumenti di comunicazione	9
2.2 Gestione della sala stampe	9
2.2.1 Ottimizzazione della coda di stampa	10
2.2.1.1 Orari di avvio della stampa	10
2.2.1.2 Cambi di materiale	10
2.2.1.3 Cambi ugello	11
3 Descrizione dello stage	12
3.1 Introduzione al progetto	12

3.2	Analisi preventiva dei rischi	12
3.3	Pianificazione	13
4	Analisi dei requisiti	15
4.1	Casi d'uso	15
4.1.1	Attori individuati	15
4.1.2	Tabella dei casi d'uso	15
4.1.3	Diagrammi dei casi d'uso	19
4.2	Analisi dei requisiti	20
4.2.1	Tracciamento dei requisiti	20
4.3	Tabelle dei requisiti	22
4.3.1	Tabella dei requisiti obbligatori	22
4.3.2	Tabella dei requisiti desiderabili	23
4.3.3	Tabella dei requisiti facoltativi	23
5	Progettazione e codifica	24
5.1	Tecnologie e strumenti	24
5.1.1	Linguaggi e framework	24
5.1.1.1	Python	24
5.1.1.2	FastAPI	25
5.1.2	Librerie	25
5.1.2.1	Black	25
5.1.2.2	isort	25
5.1.2.3	SQLModel	25
5.1.2.4	PyJWT	25
5.1.2.5	Pydantic	26
5.1.2.6	Google OR-Tools	26
5.1.3	DevOps e server di deploy	26
5.1.3.1	Docker	26
5.1.3.2	Uvicorn	26
5.1.4	Persistenza dei dati	26
5.1.4.1	MySQL	26
5.2	Progettazione della base di dati	27

5.2.1	Base di dati del modulo di pianificazione	27
5.2.2	Base di dati del software gestionale	27
5.3	Design pattern adottati	28
5.3.1	Architettura del sistema	29
5.3.2	Inversione del controllo	30
5.3.3	Design pattern comportamentali	32
5.3.4	Design pattern strutturali	33
5.4	Struttura delle cartelle	34
5.5	Lista dei modelli	35
5.5.1	Client	35
5.5.1.1	Scopo del modello	35
5.5.1.2	Definizione	36
5.5.2	JWTConfig	36
5.5.2.1	Scopo del modello	36
5.5.2.2	Definizione	37
5.5.3	ScheduleRequest	37
5.5.3.1	Scopo del modello	37
5.5.3.2	Definizione	38
5.5.4	ScheduleResponse	38
5.5.4.1	Scopo del modello	38
5.5.4.2	Definizione	39
5.5.5	PrinterSchedule	39
5.5.5.1	Scopo del modello	39
5.5.5.2	Definizione	40
5.5.6	ScheduledJob	40
5.5.6.1	Scopo del modello	40
5.5.6.2	Definizione	41
5.5.7	Summary	41
5.5.7.1	Scopo del modello	41
5.5.7.2	Definizione	42
5.5.8	Job	42
5.5.8.1	Scopo del modello	42

5.5.8.2	Definizione	43
5.5.9	Order	43
5.5.9.1	Scopo del modello	43
5.5.9.2	Definizione	44
5.5.10	Plate	44
5.5.10.1	Scopo del modello	44
5.5.10.2	Definizione	45
5.5.11	PrinterMaterial	45
5.5.11.1	Scopo del modello	45
5.5.11.2	Definizione	46
5.5.12	PrinterWork	46
5.5.12.1	Scopo del modello	46
5.5.12.2	Definizione	47
5.5.13	Printer	47
5.5.13.1	Scopo del modello	47
5.5.13.2	Definizione	48
5.5.14	SchedulingResult	48
5.5.14.1	Scopo del modello	48
5.5.14.2	Definizione	49
5.5.15	TaskVariable	49
5.5.15.1	Scopo del modello	49
5.5.15.2	Definizione	50
5.6	Sicurezza del sistema	50
6	Verifica e validazione	51
7	Conclusioni	53
7.1	Consuntivo finale	53
7.2	Raggiungimento degli obiettivi	53
7.3	Conoscenze acquisite	53
7.4	Valutazione personale	54
7.5	Valutazione personale	54

INDICE

Bibliografia **i**

Sitografia **ii**

Elenco delle figure

1.1	Logo dell'azienda Spazio Dev	1
1.2	Logo di Mugalab	2
2.1	Funzionamento Gitflow Workflow	6
2.2	Framework Scrum	7
2.3	Kanban board	9
4.1	Diagramma dei casi d'uso UC1, UC1.1, UC1.2, UC1.E	19
4.2	Diagramma dei casi d'uso UC2, UC2.1, UC2.2, UC2.E	20
4.3	Diagramma dei casi d'uso UC3, UC3.1, UC3.2, UC3.E	20
5.1	Struttura delle cartelle del progetto	35
6.1	Lorem	51

Elenco delle tabelle

3.1	Tabella riassuntiva della pianificazione del periodo di stage.	14
4.1	Tabella del tracciamento dei requisiti obbligatori.	22
4.2	Tabella del tracciamento dei requisiti desiderabili.	23

4.3	Tabella del tracciamento dei requisiti facoltativi.	23
-----	-------------------------------------------------------------	----

Elenco dei codici sorgenti

5.1	File jwt.py	30
5.2	Classe JWTDependencies	31
5.3	Interfaccia schedule_jobs	32
5.4	Definizione del model Client	36
5.5	Definizione del model JWTConfig	37
5.6	Definizione del modello ScheduleRequest	38
5.7	Definizione del modello ScheduleResponse	39
5.8	Definizione del modello PrinterSchedule	40
5.9	Definizione del modello ScheduledJob	41
5.10	Definizione del modello Summary	42
5.11	Definizione del modello Job	43
5.12	Definizione del modello Order	44
5.13	Definizione del modello Plate	45
5.14	Definizione del modello PrinterMaterial	46
5.15	Definizione del modello PrinterWork	47
5.16	Definizione del modello Printer	48
5.17	Definizione del modello SchedulingResult	49
5.18	Definizione del modello TaskVariable	50
6.1	Fibonacci recursive	52

Acronimi e abbreviazioni

API Application Program Interface. [53](#)

ASGI Asynchronous Server Gateway Interface. [26](#)

JWT JSON Web Token. [25](#)

ORM Object-Relational Mapping. [25](#)

SDK Software Development Kit. [53](#)

TSA Termine solo acronimo. [53](#)

Glossario

API In informatica un'Application Programming Interface (API) è un insieme di regole, contratti e punti di accesso che un componente software espone per consentire ad altri componenti o servizi di interagire in modo controllato, nascondendo i dettagli implementativi e semplificando l'integrazione tra sistemi eterogenei. [3](#), [53](#)

Backlog Elenco ordinato e dinamico di elementi di lavoro (item) che rappresentano valore da realizzare. In Scrum, il Product Backlog, di responsabilità del Product Owner, raccoglie e priorizza le esigenze del prodotto; lo Sprint Backlog è il piano dei Developer per raggiungere lo Sprint Goal durante lo Sprint. [7](#)

Bugfix Modifica del codice, della configurazione o dei dati volta a rimuovere un malfunzionamento (bug) e a ripristinare il comportamento atteso del sistema senza introdurre cambiamenti funzionali non richiesti. [6](#)

Bug In informatica, errore di funzionamento di un sistema o di un programma. [6](#)

Casi d'uso Descrizioni strutturate di come gli attori interagiscono con il sistema per raggiungere obiettivi specifici, evidenziando flussi principali, varianti ed esigenze funzionali che guidano l'analisi dei requisiti. [15](#)

Client Attore software o dispositivo che invia richieste a un servizio o *API* remoto utilizzando credenziali come `client_id` e `client_secret`; può rappresentare applicazioni, integrazioni di terze parti o componenti interne autorizzate a consumare l'interfaccia esposta. [27](#)

Code style Insieme di regole e convenzioni formali che disciplinano formattazione, nomenclatura e organizzazione del codice sorgente, così da mantenerlo leggibile e uniforme all'interno di un team. [25](#)

Daily Scrum Evento giornaliero, time-box di 15 minuti, in cui i Developer ispezionano i progressi verso lo Sprint Goal e adattano il piano per le prossime 24 ore; non è una riunione di status per gli stakeholder. [7](#)

Dependency Injection Tecnica concreta che realizza l'inversione del controllo fornendo a un componente le istanze delle sue dipendenze attraverso costruttori, metodi o parametri, tipicamente orchestrata da un contenitore che risolve e configura gli oggetti richiesti. [30](#)

Deploy Processo di rilascio e messa in esercizio di un'applicazione su un ambiente target (test, staging, produzione), comprendendo packaging, distribuzione, configurazione e attivazione dei servizi necessari per renderla disponibile agli utenti. [26](#)

Design Pattern Soluzione progettuale riutilizzabile che descrive come risolvere un problema ricorrente di design software, codificando ruoli, responsabilità e interazioni tra componenti per migliorare manutenibilità, flessibilità e comunicazione all'interno del team. [23](#), [28](#)

Design pattern architetturale Schema di alto livello che definisce composizione e interazione dei componenti di un sistema software per soddisfare requisiti non funzionali come scalabilità, resilienza o sicurezza, fornendo linee guida per strutturare l'intera architettura. [29](#)

Feature Unità coerente di comportamento di un sistema che produce un beneficio osservabile per l'utente. [5](#)

Framework Insieme coerente di componenti software riutilizzabili che fornisce struttura, astrazioni e convenzioni per sviluppare una specifica classe di applicazioni, velocizzando lo sviluppo e favorendo la consistenza del codice. [24](#)

Git branching model Un modello di branching Git è una strategia o un insieme di regole che definisce come i team devono creare, gestire e unire i branch in un repository Git, al fine di organizzare il flusso di sviluppo. [5](#)

Inversione del controllo Principio architetturale secondo cui un componente non istanzia né gestisce direttamente le proprie dipendenze ma delega a un contenitore o infrastruttura esterna la responsabilità di fornirle, riducendo l'accoppiamento e facilitando test e sostituzione delle implementazioni. [28](#)

Issue Unità di lavoro o ticket che rappresenta una richiesta, un bug, un miglioramento o un'attività da tracciare e gestire in un sistema di gestione del lavoro come Jira o GitHub Issues. Ogni issue dovrebbe includere contesto, criteri di accettazione e stato per facilitare la collaborazione. [8](#)

Layer Strato logico dell'architettura che incapsula un insieme coerente di responsabilità e offre servizi attraverso interfacce ben definite agli strati adiacenti, limitando l'accoppiamento e favorendo la separazione delle preoccupazioni. [29](#)

Logica di business Insieme delle regole applicative e delle trasformazioni sui dati che implementano i requisiti del dominio, orchestrando servizi, repository e validazioni per garantire coerenza funzionale indipendentemente da presentazione e persistenza. [34](#)

Makespan Intervallo temporale complessivo necessario per completare tutte le attività pianificate, pari alla differenza tra l'avvio del primo lavoro e la conclusione dell'ultimo all'interno della schedulazione. [42](#)

Multi tenant Modello architetturale in cui un'unica istanza dell'applicazione serve più tenant isolati (organizzazioni o gruppi di utenti) condividendo infrastruttura e codice ma mantenendo separati dati e configurazioni, così da ottimizzare i costi e semplificare il rilascio. [28](#)

Open source Modello di distribuzione del software in cui il codice sorgente è reso pubblico con una licenza che consente a chiunque di studiarlo, modificarlo e ridistribuirlo, favorendo collaborazione e trasparenza. [26](#)

Ottimizzazione combinatoria Area dell'ottimizzazione che studia problemi in cui si cerca la soluzione migliore tra un insieme finito ma molto ampio di combinazioni discrete, tipicamente soggetti a vincoli (es. scheduling, routing, assegnamento). [26](#)

Pattern a layer Design pattern architetturale che suddivide un sistema in strati indipendenti con responsabilità specifiche (es. presentazione, logica, accesso ai dati), così da ridurre le dipendenze e facilitare riuso, manutenzione e test. [29](#)

POC Il Proof Of Concept (POC) è l'allestimento di una demo prototipale del sistema o applicazione in sviluppo o in corso di valutazione. [3](#)

Product Owner Figura chiave di Scrum responsabile di massimizzare il valore del prodotto e del lavoro del team. Definisce e mantiene il Product Backlog, ne ordina gli elementi in base al valore e agli obiettivi, chiarisce i requisiti e accetta l'incremento completato. [7](#)

Scalabilità Capacità di un sistema di sostenere carichi crescenti (utenti, dati o richieste) mantenendo livelli di servizio accettabili, adattando risorse hardware o struttura software tramite scaling verticale, orizzontale o elastico. [29](#)

Scrum Master Servant leader del team Scrum. Promuove e supporta Scrum come definito nella Scrum Guide, facilita gli eventi Scrum, rimuove impedimenti, tutela il team e aiuta l'organizzazione ad adottare pratiche agili. [7](#)

SDK A Software Development Kit (SDK) is a collection of development tools in one installable package, facilitating application creation by providing a compiler, debugger, and sometimes a software framework. SDKs are

typically specific to a hardware platform and operating system combination. Many application developers use specific SDKs to enable advanced functionalities such as advertisements, push notifications, etc. [53](#)

Server di deploy Computer dedicato all'esecuzione in produzione di un'applicazione software. Ospita il codice distribuito, espone le relative API e garantisce risorse hardware e configurazioni adeguate per gestire il carico operativo previsto.. [13](#)

Sprint Time-box tipico del framework Scrum, della durata compresa fra uno e quattro settimane, durante il quale il team realizza un incremento potenzialmente rilasciabile seguendo uno Sprint Goal condiviso. Lo Sprint include pianificazione, sviluppo, revisione e retrospettiva. [8](#)

Sprint Planning Evento che apre lo Sprint in cui lo Scrum Team definisce lo Sprint Goal, seleziona gli elementi del Product Backlog da includere nello Sprint e pianifica il lavoro necessario nel Sprint Backlog. [7](#)

Sprint Retrospective Ultimo evento dello Sprint dedicato all'ispezione delle modalità di lavoro del team e all'individuazione di miglioramenti pratici da implementare nel prossimo Sprint. [7](#)

Sprint Review Evento alla fine dello Sprint per ispezionare l'incremento e adattare il Product Backlog. Coinvolge stakeholder e team per raccogliere feedback, rivedere i risultati e allineare i prossimi passi. [7](#)

Nome del termine Descrizione. [53](#)

Version Control System Un sistema di versionamento (Version Control System o VCS) è uno strumento software che traccia e gestisce le modifiche apportate a un file o a un insieme di file nel tempo, permettendo di recuperare versioni precedenti e di collaborare con altri utenti. [5](#)

Capitolo 1

Introduzione

1.1 L'azienda

Spazio Dev S.r.l.¹ è una software house situata a Tombolo (PD) fondata da due soci, ad oggi l'azienda conta circa 17 dipendenti e si occupa di offrire servizi legati al mondo dello sviluppo web e dell'ottimizzazione dei processi industriali. L'azienda si occupa, nello specifico, di sviluppare siti web, e-commerce, software su misura e di integrare algoritmi che sfruttano l'intelligenza artificiale per ottimizzare la produzione o monitorare lo stato dell'azienda in tempo reale.



Figura 1.1: Logo dell'azienda Spazio Dev

1.1.1 Mugalab

Mugalab² è la divisione di Spazio Dev S.r.l. dedicata alla gestione della sala stampa 3D presente nella sede aziendale. Attraverso la tecnica della stampa additiva, Mugalab si occupa di:

- progettare e prototipare componenti per il settore industriale;

¹*Sito Spazio Dev.* URL: <https://spaziodev.eu/>.

²*Sito Mugalab.* URL: <https://mugalab.com/>.

- progettare e prototipare componenti per dispositivi elettronici;
- disegnare e produrre oggetti ornamentali.



Figura 1.2: Logo di Mugalab

1.2 Il progetto

1.2.1 L'idea

L'idea di questo percorso di stage curriculare nasce dalla necessità dell'azienda di gestire in maniera efficiente la produzione delle componenti stampate in 3D. Attualmente lo stabilimento dispone di 12 stampanti e la pianificazione della stampa degli ordini di produzione viene effettuata manualmente da un singolo operatore, il quale si accerta di ottimizzare la produzione seguendo alcune buone pratiche che permettono di risparmiare tempo e aumentarne l'efficienza. L'obiettivo principale dell'azienda è quindi quello di ideare un sistema automatizzato, il cui scopo è creare una coda di stampa ottimizzata a partire dagli ordini di produzione non ancora evasi completamente. Tale sistema dovrà integrarsi completamente con il sistema gestionale esistente, il quale viene utilizzato quotidianamente dal personale dell'azienda per gestire la coda di stampa e registrare gli ordini ricevuti dalle piattaforme utilizzate per la vendita delle componenti e degli oggetti ornamentali (Amazon, Shopify e vendita B2B). Questo progetto è destinato esclusivamente ad uso interno dell'azienda, assumendo quindi il ruolo

di *Proof Of Concept_G* della fattibilità di un sistema di schedulazione automatizzato e vincolato. Il codice potrà quindi essere ulteriormente ottimizzato e ampliato in modo tale da migliorarne l'efficienza e aumentare la qualità del risultato prodotto, oltre ad essere adattato a scenari d'utilizzo differenti da quello proposto.

1.2.2 Motivazioni e problematiche attuali

La pianificazione manuale della coda di stampa genera ritardi e inefficienze operative, con ricadute dirette sui tempi di consegna. Una schedulazione basata su un algoritmo di ottimizzazione consente di generare piani fattibili in modo più rapido e meno incline a errori, migliorando l'utilizzo delle stampanti e riducendo i tempi morti.

1.3 Organizzazione del testo

Il secondo capitolo descrive ...

Il terzo capitolo approfondisce ...

Il quarto capitolo approfondisce ...

Il quinto capitolo approfondisce ...

Il sesto capitolo approfondisce ...

Nel settimo capitolo descrive ...

Durante la stesura del testo 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 la prima occorrenza dei termini riportati nel glossario viene utilizzata la seguente nomenclatura: *Application Program Interface_G*;

- i nomi degli oggetti, delle funzioni, delle tabelle, delle colonne, delle classi e delle rotte *API* sono evidenziati con il carattere **monospaziato**.
- i termini in lingua straniera o facenti parte del gergo tecnico sono evidenziati con il carattere *corsivo*.

Capitolo 2

Il contesto aziendale

2.1 Sviluppo software

Spazio Dev è un'azienda di piccole dimensioni, di recente fondazione e ancora in fase di crescita. Di conseguenza il progetto è stato sviluppato con budget limitato e da una singola persona. I processi di sviluppo aziendali, pertanto, sono ancora in rapida evoluzione.

2.1.1 Version Control System

L'azienda utilizza Git¹ come *Version Control System*_G e Gitea² come piattaforma di hosting per i repository. Per quanto riguarda il *Git branching model*_G viene adottato il Gitflow workflow³, adattato nel seguente modo:

- il *branch* dedicato alle versioni stabili è denominato *main*;
- il *branch* dedicato alle versioni di sviluppo è denominato *develop*;
- i *branch* dedicati alle implementazioni di *feature*_G vengono denominati con lo schema *feature/<nome_feature>* dove il parametro *<nome_feature>* è una breve descrizione della *feature* che si sta codificando;

¹ *Sito ufficiale Git*. URL: <https://git-scm.com/>.

² *Sito ufficiale Gitea*. URL: <https://about.gitea.com/>.

³ *Spiegazione completa Gitflow workflow*. URL: <https://www.atlassian.com/git/tutorials/comparing-workflows/gitflow-workflow>.

- i *branch* dedicati ai *bugfix*_G vengono denominati con lo schema *fix*/*<nome_bug>* dove il parametro *<nome_bug>* è una breve descrizione del *bug*_G che si sta risolvendo.
- i *branch* dedicati alla documentazione vengono denominati con lo schema *docs*/*<nome_documentazione>* dove il parametro *<nome_documentazione>* è una breve descrizione della modifica alla documentazione.

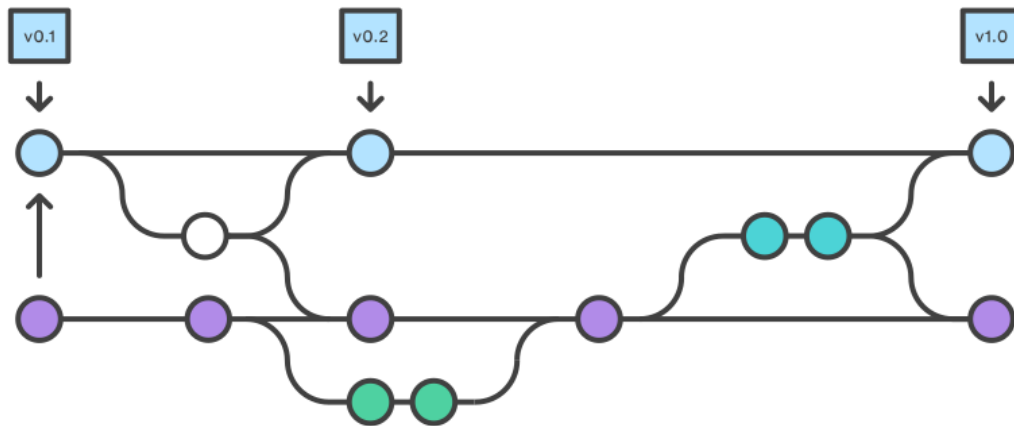


Figura 2.1: Funzionamento Gitflow Workflow

Viene inoltre adottato lo standard Conventional Commits 1.0.0⁴ per la scrittura dei messaggi di commit, in particolare ogni commit possiede un messaggio così formato: *<tipo>*: *<descrizione>*, dove il parametro *<tipo>* è:

- *fix* in caso di commit contenente *bugfix*;
- *docs* in caso di commit di aggiornamento della documentazione;
- *feat* in caso di commit contenente *feature*.

Non sono state definite policy di protezione dei rami, requisiti di revisione o regole di merge, tali aspetti potranno tuttavia essere definiti in futuro dall'azienda.

⁴Documentazione ufficiale Conventional Commits 1.0.0. URL: <https://www.conventionalcommits.org/en/v1.0.0/>.

2.1.2 Modello di lavoro agile

L'azienda adotta il framework Scrum⁵ come modello di lavoro agile⁶, in particolare:

- il ruolo di *Product Owner_G* viene ricoperto dai titolari dell'azienda i quali si occupano di creare e gestire il *backlog_G* del prodotto, fornire indicazioni al team su quali feature implementare e decidono le scadenze dei rilasci del prodotto;
- il ruolo di *Scrum Master_G* viene ricoperto dai titolari dell'azienda, i quali si occupano di pianificare *Sprint Planning_G*, *Daily Scrum_G*, *Sprint Review_G* e *Sprint Retrospective_G*;
- il ruolo del team di sviluppo viene ricoperto dagli sviluppatori, i quali vengono divisi in gruppi e assegnati ai progetti in fase di sviluppo.

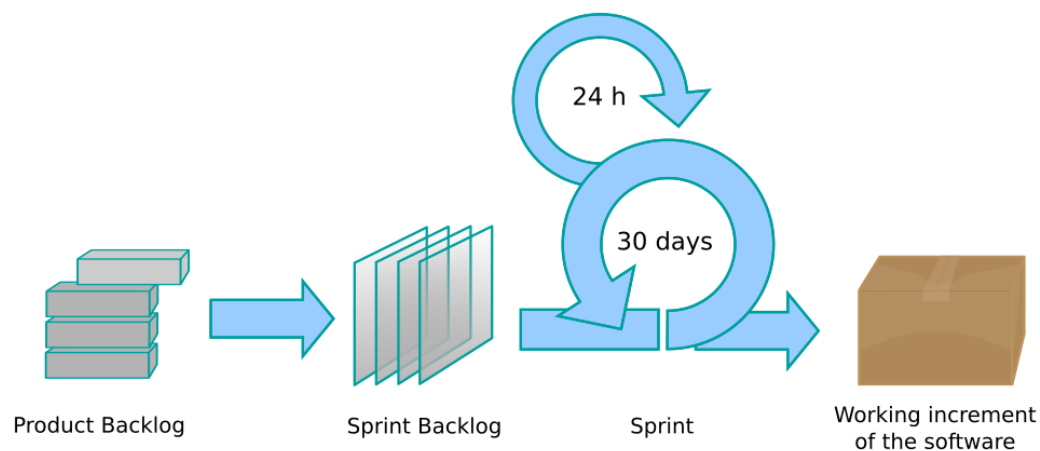


Figura 2.2: Framework Scrum

⁵*Framework Scrum*. URL: [https://it.wikipedia.org/wiki/Scrum_\(informatica\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Scrum_(informatica)).

⁶*Manifesto Agile*. URL: <http://agilemanifesto.org/iso/it/>.

2.1.3 Issue Tracking System

L'azienda utilizza Plane⁷ come sistema di tracciamento delle attività. Le *issue*_G sono organizzate su una board in stile Kanban composta da cinque colonne:

- *Backlog*: raccolta iniziale delle attività proposte, non ancora pianificate;
- *Todo*: attività prioritarie selezionate per l'esecuzione;
- *In Progress*: attività in lavorazione;
- *In Review*: attività concluse e in fase di verifica;
- *Done*: attività completate.

Ogni *issue* è inoltre associata a un livello di priorità tra i seguenti:

- *Critical*: attività richiedenti intervento immediato;
- *High*: richieste ad alto impatto o con scadenza molto ravvicinata;
- *Medium*: *bugfix* non critici che vengono inseriti nella pianificazione ordinaria degli *Sprint*_G;
- *Low*: miglioramenti minori non prioritari.

La combinazione di colonna Kanban e priorità rende evidente sia lo stato di avanzamento sia l'urgenza.

⁷Sito ufficiale Plane. URL: <https://plane.so/>.

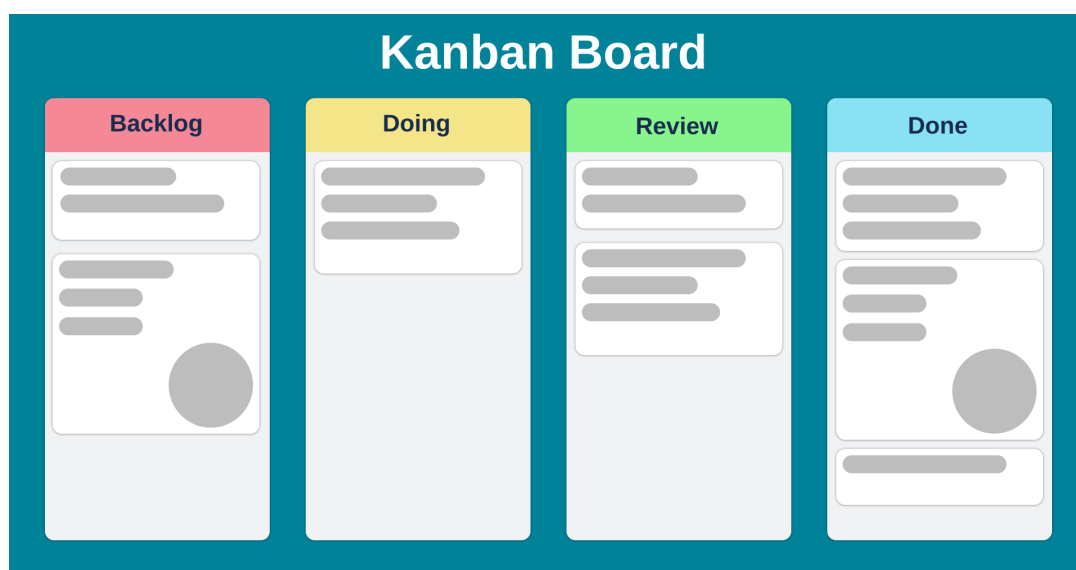


Figura 2.3: Kanban board

2.1.4 Strumenti di comunicazione

Le comunicazioni interne avvengono interamente tramite Telegram⁸: ogni progetto dispone di un gruppo dedicato in cui titolari e sviluppatori condividono aggiornamenti, documentazione e decisioni operative in tempo reale. Questo canale unico permette di evitare dispersioni e di mantenere traccia delle richieste provenienti dai clienti.

Le riunioni operative vengono organizzate con cadenza variabile, in funzione delle necessità del progetto o delle scadenze concordate con i clienti. Quando emergono nuove priorità o si avvicina un rilascio, i titolari convocano incontri mirati per allineare il team sugli obiettivi, discutere eventuali impedimenti e definire le attività da pianificare nel successivo *sprint*.

2.2 Gestione della sala stampe

Spazio Dev possiede attualmente molteplici punti di ingresso degli ordini relativi alla stampa 3D dei componenti, in particolare:

⁸ *Telegram*. Sito ufficiale Telegram. URL: <https://telegram.org> (visitato il giorno 23/10/2025).

- La vendita di vasi portafiori e complementi d'arredo viene effettuata online e sulla piattaforma e-commerce Amazon;
- Le produzioni personalizzate e B2B vengono gestite manualmente.

Per la gestione di tali ordini e della coda di stampa viene utilizzato un gestionale sviluppato dall'azienda stessa, denominato "Idrotech Manager".

2.2.1 Ottimizzazione della coda di stampa

Per gestire in maniera efficiente l'evasione degli ordini l'azienda applica diverse ottimizzazioni alla coda di stampa, in modo tale da sfruttare nel miglior modo possibile le capacità di produzione. Tali procedure riguardano in particolare gli orari di avvio della stampa, la gestione dei cambi di materiale e dei cambi di ugello.

2.2.1.1 Orari di avvio della stampa

La gestione degli orari di avvio della stampa risulta fondamentale per ottimizzare al meglio la produzione. Ciò è dovuto al fatto che ogni stampante, quando termina la produzione di un piatto, necessita di un intervento manuale da parte di un operatore per la rimozione del prodotto finito e l'avvio della stampa successiva. L'idea alla base è quindi quella di pianificare tutte le stampe brevi durante l'orario lavorativo (in modo che sia sempre possibile avviare una nuova produzione). Le stampe più lunghe vengono invece avviate poco prima della fine della giornata per sfruttare al meglio i periodi di tempo in cui non c'è personale presente all'interno dello stabilimento.

2.2.1.2 Cambi di materiale

La coda di stampa può essere ottimizzata riducendo al minimo i cambi di materiale (o colore) tra una stampa e quella successiva. Questo perché ogni qual volta viene richiesto di cambiare il colore del filamento o il materiale utilizzato la stampa viene interrotta e un operatore deve intervenire manualmente per la sostituzione del filamento. Per semplicità, l'azienda assume che il tempo necessario per cambiare un filamento sia di 5 minuti.

2.2.1.3 Cambi ugello

Ogni articolo possiede uno specifico ugello che viene utilizzato per cambiare lo spessore della stampa. Come per i cambi di materiale anche il cambio ugello richiede un intervento manuale da parte di un operatore. Per semplicità, l'azienda assume che il tempo necessario per cambiare un filamento sia di 15 minuti.

Capitolo 3

Descrizione dello stage

3.1 Introduzione al progetto

Come descritto nell'introduzione (1) il progetto codificato durante il periodo di stage curricolare è uno schedatore automatico che ottimizza e riordina la coda di stampa a partire dagli ordini di produzione presenti all'interno del software gestionale Idrotech Manager. Tale schedatore deve tenere conto delle ottimizzazioni descritte nella sezione dedicata (2.2), oltre a doversi integrare con il gestionale in utilizzo dal personale.

3.2 Analisi preventiva dei rischi

La prima fase dello stage curricolare è stata dedicata all'analisi preventiva dei rischi. Tale procedura ha lo scopo di delineare i possibili rischi a cui si può andare incontro durante lo sviluppo del progetto, oltre a trovare delle possibili soluzioni per mitigare tali problematiche.

1. Errata scelta delle tecnologie

Descrizione: una scelta errata delle tecnologie da utilizzare per la codifica del progetto potrebbe portare ad un risultato inutilizzabile o non abbastanza performante.

Soluzione: coinvolgimento del responsabile nella scelta e occupare il primo periodo per validare le idee proposte.

2. Sicurezza nell'integrazione del modulo

Descrizione: la comunicazione tra il modulo da sviluppare e il gestionale esistente deve rispettare degli standard minimi di sicurezza, in modo che non tutti possano accedere alle *API* esposte.

Soluzione: dedicare parte del tempo allo studio su come rendere più sicuro l'accesso alle rotte *API*.

3. Risultati di ordinamento insoddisfacenti

Descrizione: il modulo potrebbe restituire risultati non soddisfacenti, con conseguenti inefficienze nella produzione.

Soluzione: validare assieme al tutor interno le logiche implementate in maniera periodica, testare il modulo con dataset realistici.

4. Prestazioni dello schedatore

Descrizione: il modulo potrebbe impiegare troppo tempo per ottimizzare la coda di stampa.

Soluzione: utilizzare un *server di deploy_G* con buone prestazioni, velocizzare l'esecuzione diminuendo, ad esempio, il tempo disponibile per la ricerca di una soluzione ottima.

5. Rispetto delle scadenze

Descrizione: le tempistiche dello stage curricolare potrebbero non essere sufficienti per avere un risultato concreto e utilizzabile.

Soluzione: svolgere una pianificazione (3.3) accurata del periodo di tempo a disposizione e convalidare il raggiungimento degli obiettivi.

3.3 Pianificazione

Oltre all'analisi preventiva dei rischi (3.2) è stata svolta una pianificazione accurata di tutte le fasi del periodo di stage. Questo, oltre a mitigare il rischio "Rispetto delle scadenze" (5) serve a determinare i contenuti da revisionare al termine di ogni *sprint*.

Settimana	Obiettivi	Ore
1	Analisi dei requisiti e dei rischi del progetto, scelta e inizio studio delle tecnologie.	40
2	Lettura della documentazione, studio del gestionale e progettazione delle integrazioni.	40
3	Inizio della codifica del progetto.	40
4	Codifica del progetto.	40
5	Codifica del progetto.	40
6	Codifica del progetto.	40
7	Codifica del progetto, validazione logiche implementate.	40
8	Test dell'algoritmo con dataset realistici.	20

Tabella 3.1: Tabella riassuntiva della pianificazione del periodo di stage.

Capitolo 4

Analisi dei requisiti

4.1 Casi d'uso

Come descritto nella sezione [Pianificazione](#) la prima parte del periodo di stage è stata dedicata all'analisi dei requisiti del progetto. Prima di fare ciò sono stati definiti tutti i *casi d'uso*_G del sistema.

4.1.1 Attori individuati

L'utente finale del sistema non utilizzerà direttamente il modulo di pianificazione, le sue funzionalità potranno essere messe a disposizione attraverso il software gestionale, per questo sono stati individuati due principali attori:

- operatore, ovvero l'utente che interagisce con il software gestionale;
- software gestionale, il quale interagisce con il modulo di pianificazione.

Trattandosi di un sistema con il compito di automatizzare un processo, il numero dei *casi d'uso* risulta limitato.

4.1.2 Tabella dei casi d'uso

Identificativo	Descrizione
UC1	<p><i>Attori:</i> Gestionale.</p> <p><i>Scopo:</i> Ricevere una lista di ordini da pianificare dal software gestionale.</p> <p><i>Pre-condizione:</i> Endpoint raggiungibile, autenticazione valida e payload validato correttamente.</p> <p><i>Post-condizione:</i> Richiesta accettata e messa in coda per l'elaborazione.</p>
UC1.1	<p><i>Attori:</i> Gestionale.</p> <p><i>Scopo:</i> Calcolare un piano di stampa coerente con i vincoli.</p> <p><i>Pre-condizione:</i> Esiste una richiesta di schedulazione accettata.</p> <p><i>Post-condizione:</i> Piano di schedulazione prodotto e pronto all'invio.</p>
UC1.2	<p><i>Attori:</i> Gestionale.</p> <p><i>Scopo:</i> Notificare al gestionale l'esito della schedulazione.</p> <p><i>Pre-condizione:</i> Risultato disponibile, web-hook del gestionale configurato e raggiungibile.</p> <p><i>Post-condizione:</i> Esito notificato e inviato al gestionale.</p>
Continua...	

Continua...

Identificativo	Descrizione
UC1.E	<i>Attori:</i> Gestionale. <i>Scopo:</i> Comunicare un errore occorso in UC1 o UC1.1 <i>Pre-condizione:</i> Si è verificata un'anomalia (mancata autorizzazione, validazione dei dati fallita o altro). <i>Post-condizione:</i> Errore tracciato e inviato al gestionale.
UC2	<i>Attori:</i> Operatore. <i>Scopo:</i> Consultare l'elenco dei risultati di schedulazione. <i>Pre-condizione:</i> Schedulazioni precedenti presenti. <i>Post-condizione:</i> Schedulazioni mostrate.
UC2.1	<i>Attori:</i> Operatore. <i>Scopo:</i> Visualizzare il piano su vista a calendario. <i>Pre-condizione:</i> Almeno una schedulazione presente nel database. <i>Post-condizione:</i> Calendario visualizzabile a schermo con gli slot pianificati.

Continua...

Continua...

Identificativo	Descrizione
UC2.2	<i>Attori:</i> Operatore. <i>Scopo:</i> Confermare l'accettazione della coda proposta. <i>Pre-condizione:</i> Sezione dei dettagli della schedulazione aperta. <i>Post-condizione:</i> Schedulazione marcata come accettata e importazione avvenuta nel calendario.
UC2.E	<i>Attori:</i> Operatore. <i>Scopo:</i> Informare l'utente di errori avvenuti durante l'importazione a calendario. <i>Pre-condizione:</i> Errore occorso in UC2.2. <i>Post-condizione:</i> Errore comunicato e stato invariato.
UC3	<i>Attori:</i> Operatore. <i>Scopo:</i> Richiedere l'avvio della schedulazione automatica. <i>Pre-condizione:</i> Operatore autenticato, sezione Ordini accessibile. <i>Post-condizione:</i> Richiesta inviata al modulo e accettata.

Continua...

Continua...

Identificativo	Descrizione
UC3.1	<p><i>Attori:</i> Operatore.</p> <p><i>Scopo:</i> Selezionare uno o più ordini da includere nella schedulazione.</p> <p><i>Pre-condizione:</i> Modale di selezione ordini aperto.</p> <p><i>Post-condizione:</i> Ordini da pianificare selezionati e pronti all'invio.</p>
UC3.2	<p><i>Attori:</i> Operatore.</p> <p><i>Scopo:</i> Informare dell'avvenuta accettazione della richiesta da parte del modulo.</p> <p><i>Pre-condizione:</i> Risposta positiva del modulo.</p> <p><i>Post-condizione:</i> Notifica visualizzata, modale chiuso.</p>
UC3.E	<p><i>Attori:</i> Operatore</p> <p><i>Scopo:</i> Informare l'utente di errori incontrati durante l'avvio della schedulazione.</p> <p><i>Pre-condizione:</i> Errore occorso in UC3.</p> <p><i>Post-condizione:</i> Errore comunicato e stato invariato.</p>

4.1.3 Diagrammi dei casi d'uso

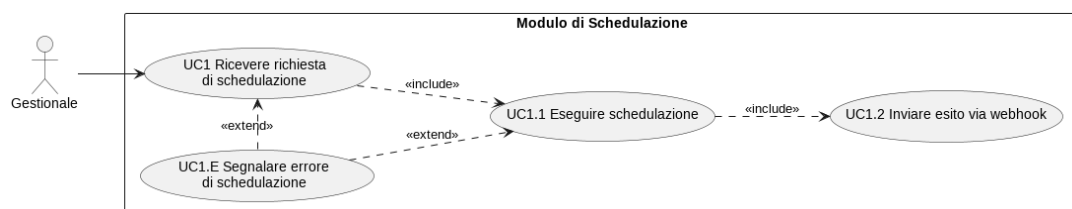


Figura 4.1: Diagramma dei casi d'uso UC1, UC1.1, UC1.2, UC1.E

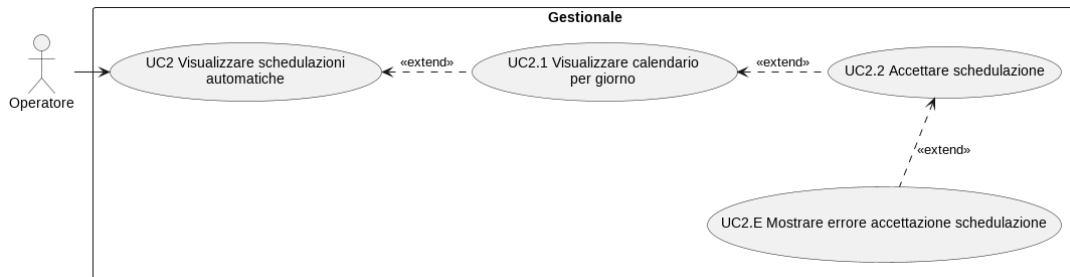


Figura 4.2: Diagramma dei casi d'uso UC2, UC2.1, UC2.2, UC2.E

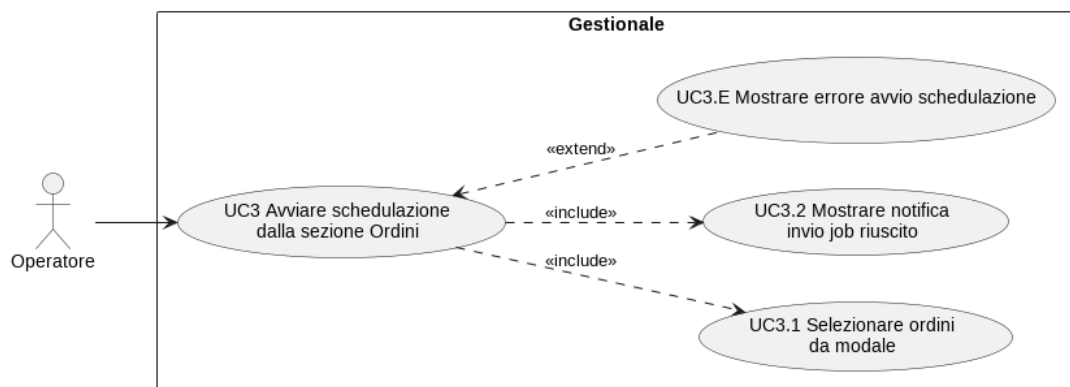


Figura 4.3: Diagramma dei casi d'uso UC3, UC3.1, UC3.2, UC3.E

4.2 Analisi dei requisiti

Una volta stilata la lista dei *casi d'uso* è stato possibile procedere con l'effettiva analisi dei requisiti del sistema. Tale operazione si è svolta attraverso un incontro con il tutor aziendale, durante il quale sono stati rilevati tutti i requisiti obbligatori, desiderabili e facoltativi.

4.2.1 Tracciamento dei requisiti

Ogni requisito viene identificato attraverso un codice identificativo di questo tipo:

R.x.y

dove:

- la lettera R identifica il requisito;
- la lettera x identifica la tipologia di tale requisito, ovvero:

- O obbligatorio;
 - D desiderabile;
 - F facoltativo.
-
- la lettera y è un valore numerico progressivo a partire da 0.

4.3 Tabelle dei requisiti

4.3.1 Tabella dei requisiti obbligatori

Requisito	Descrizione
RO0	Il modulo deve produrre una coda di stampa dettagliata, evidenziando quale articolo stampare e quale stampante usare.
RO1	La schedulazione proposta deve considerare gli orari di lavoro aziendali.
RO2	La schedulazione proposta deve ottimizzare la stampa raggruppando i lavori con lo stesso materiale.
RO3	La schedulazione proposta deve ottimizzare la stampa pianificando i lavori corti durante la giornata lavorativa.
RO4	La schedulazione proposta deve ottimizzare la stampa pianificando i lavori lunghi al di fuori della giornata lavorativa.
RO5	La schedulazione deve essere avviabile dal software gestionale esistente.
RO6	La schedulazione deve essere visualizzabile dal software gestionale.
RO7	La schedulazione deve essere importabile nel calendario del software gestionale.
RO8	La schedulazione deve essere visibile in maniera chiara, in modo che l'utente possa trovare facilmente le informazioni utili.
RO9	La soluzione deve essere ammissibile e non devono esserci lavori sovrapposti.
RO10	Tutti i pezzi da stampare devono essere inseriti nella pianificazione, non sono ammesse stampe parziali.
RO11	Deve essere considerato un tempo di cambio piatto tra una stampa e l'altra.
RO12	Deve essere considerato un tempo di cambio filamento tra un lavoro di stampa e il suo successivo se usano materiali diversi.

Tabella 4.1: Tabella del tracciamento dei requisiti obbligatori.

4.3.2 Tabella dei requisiti desiderabili

Requisito	Descrizione
RD0	Deve essere disponibile un metodo di autenticazione per validare l'origine della richiesta delle schedulazioni.
RD1	Lo sviluppo deve avvenire utilizzando <i>design pattern</i> _G comprovati e producendo codice mantenibile per facilitare le modifiche future.
RD2	La schedulazione proposta deve ottimizzare la stampa raggruppando i lavori con lo stesso ugello.
RD2	La schedulazione proposta deve ottimizzare la stampa raggruppando i lavori con lo stesso colore.
RD3	Al termine dello sviluppo l'algoritmo implementato deve essere validato utilizzando set di dati realistici.
RD4	La schedulazione proposta deve ottimizzare il numero di pezzi stampati nel piatto, minimizzando gli sprechi e il ritardo nelle consegne.

Tabella 4.2: Tabella del tracciamento dei requisiti desiderabili.

4.3.3 Tabella dei requisiti facoltativi

Requisito	Descrizione
RF0	La pianificazione deve avvenire automaticamente ad intervalli di tempo prefissati e modificabili dall'utente.
RF1	La pianificazione deve poter essere calcolata a partire da uno stato iniziale, schedulando solo i lavori mancanti.
RF2	L'utente deve essere in grado di modificare i parametri dello schedulatore dal software gestionale.

Tabella 4.3: Tabella del tracciamento dei requisiti facoltativi.

Capitolo 5

Progettazione e codifica

La fase di progettazione e codifica è stata la più significativa per il progetto in quanto ha occupato la maggior parte del tempo a disposizione. Attraverso un incontro con il tutor aziendale sono stati definiti i *framework_G* per la codifica e l'architettura del sistema.

5.1 Tecnologie e strumenti

Di seguito viene data una panoramica delle tecnologie e strumenti utilizzati.

5.1.1 Linguaggi e framework

5.1.1.1 Python

Linguaggio di programmazione ad alto livello, orientato agli oggetti e adatto a sviluppare applicazioni distribuite. Viene utilizzato nello sviluppo web, nell'analisi dei dati, nel machine learning e nello sviluppo di automazioni.

5.1.1.2 FastAPI

Framework web per la codifica di *API* basato su Python¹. Offre elevate prestazioni, validazione dell'input attraverso l'utilizzo della libreria Pydantic² e documentazione automatica seguendo lo standard OpenAPI³.

5.1.2 Librerie

5.1.2.1 Black

Libreria che permette di formattare il codice Python, utilizzata per imporre un *code style*_G unico e automatizzabile.

5.1.2.2 isort

Libreria che permette di formattare le importazioni delle librerie Python, utilizzata per imporre un *codestyle* unico e automatizzabile.

5.1.2.3 SQLAlchemy

Libreria che permette di interagire con basi di dati relazionali attraverso il codice scritto in Python con la tecnica di programmazione *Object-Relational Mapping (ORM)*_G.

5.1.2.4 PyJWT

Libreria che permette di codificare e decodificare *JSON Web Token (JWT)*_G, utilizzati per autenticare utenti o servizi.

¹*Python*. Sito ufficiale Python. URL: <https://www.python.org/> (visitato il giorno 08/11/2025).

²*Pydantic*. Sito ufficiale Pydantic. URL: <https://docs.pydantic.dev/latest/> (visitato il giorno 08/11/2025).

³*OpenAPI*. Sito ufficiale documentazione OpenAPI. URL: <https://swagger.io/specification/> (visitato il giorno 08/11/2025).

5.1.2.5 Pydantic

Libreria che aggiunge funzionalità legate alla validazione dei dati in Python, permette di definire con precisione la struttura dei dati e gestire i casi in cui si riceva un input non conforme alle aspettative.

5.1.2.6 Google OR-Tools

Libreria che contiene strumenti per risolvere problemi di *ottimizzazione combinatoria*_G. Permette di modellare un problema attraverso diversi linguaggi di programmazione (C++, Python, C# o Java) e utilizzare diversi risolutori commerciali o *open source*_G.

5.1.3 DevOps e server di deploy

5.1.3.1 Docker

Piattaforma utilizzata per creare ambienti isolati e riproducibili dove eseguire le applicazioni. Consente di standardizzare lo sviluppo locale e il *deploy*_G, riducendo differenze tra ambienti e semplificando l'esecuzione dei servizi.

5.1.3.2 Unicorn

Server di tipo *Asynchronous Server Gateway Interface (ASGI)*_G per applicazioni web Python asincrone. Utilizzato per eseguire l'*API* in sviluppo e in produzione, supporta la concorrenza.

5.1.4 Persistenza dei dati

5.1.4.1 MySQL

Sistema di gestione di basi di dati relazionali usato per la persistenza. Supporta transazioni e indici, ed è integrato con l'applicazione tramite *ORM* per la definizione dello schema e l'accesso ai dati.

5.2 Progettazione della base di dati

5.2.1 Base di dati del modulo di pianificazione

Assieme al tutor aziendale è stata presa la decisione di non utilizzare la base di dati del modulo di pianificazione per la persistenza dei risultati generati, questo perchè la coda di stampa viene visualizzata direttamente all'interno del software gestionale e risulta pertanto più semplice e intuitivo modificare direttamente il *database* di quest'ultimo. La base di dati del modulo di pianificazione ha il solo compito di memorizzare i *client*_G registrati e autorizzati a chiamare le *API* esposte, a tale scopo è stata creata una sola tabella denominata `clients` e così strutturata:

- `id`: intero auto-incrementale utilizzato come chiave primaria, generato automaticamente dal *database*.
- `client_id`: stringa obbligatoria indicizzata e univoca che identifica il client registrato.
- `client_secret`: stringa obbligatoria che contiene la password utilizzata dal client per l'autenticazione (vedi 5.6).
- `created_at`: campo di tipo `DateTime` per tracciare la data di registrazione.
- `is_active`: valore booleano che indica se il client è abilitato, è valorizzato a *true* di default.

Ciò permette, in futuro, di aggiungere eventuali altri *client* autorizzati ad utilizzare il modulo.

5.2.2 Base di dati del software gestionale

La progettazione della base di dati è risultata fondamentale per permettere all'utente di visualizzare correttamente le code di stampa pianificate. Il software gestionale esistente (e già sviluppato al momento della codifica del progetto)

possiede una base di dati già strutturata e utilizzata sia dall'azienda ospitante che da alcuni clienti dell'azienda stessa (in quanto il software è *multi tenant_G*). Per questo motivo l'ampliamento della base di dati esistente è stato eseguito cercando di mantenere al minimo il numero di modifiche.

Sono state aggiunte due tabelle per tracciare gli output della pianificazione e il legame con gli ordini:

- La tabella `scheduling_results` così formata:
 - `id`: intero auto-incrementale usato come chiave primaria;
 - `user_id`: chiave esterna verso la tabella `users` contenente i dati degli utenti registrati;
 - `data`: campo `json` obbligatorio che memorizza il payload completo della soluzione;
 - `is_accepted`: boolean obbligatorio valorizzato di default a *false* per indicare l'approvazione dell'utente;
 - `created_at`: campo di tipo `DateTime` per tracciare la data di ricezione del risultato;
 - `updated_at`: campo di tipo `DateTime` per tracciare la data dell'ultima modifica risultato.
- La tabella `scheduling_results_orders` così formata:
 - `id`: intero auto-incrementale usato come chiave primaria;
 - `order_id`: chiave esterna verso la tabella `orders` contenente gli ordini ricevuti;
 - `scheduling_result_id`: chiave esterna verso `scheduling_results`.

5.3 Design pattern adottati

Qui vengono descritti i *design pattern_G* comportamentali e di *inversione del controllo_G* adottati.

5.3.1 Architettura del sistema

Il *design pattern architetturale*_G scelto per la codifica del progetto è il *pattern a layer*_G. Tale scelta è stata presa per le seguenti motivazioni:

- Permette una buona separazione delle responsabilità, ogni *layer*_G non conosce infatti l'implementazione degli altri;
- Permette una maggior semplicità di sviluppo, in quanto è un *design pattern architetturale* conosciuto e di semplice comprensione;
- Permette una buona manutenibilità del codice, ogni *layer* non viene influenzato dai cambiamenti apportati ad altri layer (a patto che i *contratti* tra i layer rimangano invariati);
- Permette una buona testabilità, ogni *layer* può essere isolato e testato separatamente;
- Il progetto non richiede un'elevata *scalabilità*_G del sistema.

I *layer* implementati all'interno del sistema sono i seguenti:

- *API layer*: rappresenta la logica che riceve le richieste HTTP e orchestra le chiamate ai servizi disponibili;
- *Business layer*: rappresenta la logica di business dell'applicazione, riceve i dati dall'*API layer* ed effettua le operazioni necessarie;
- *Persistence layer*: rappresenta la connessione tra il *business layer* e il *database*, si occupa di eseguire le *query* orchestrare l'utilizzo del *Object-Relational Mapper*;
- *Database layer*: rappresenta il *database* dell'applicativo, dove i dati sono salvati e prelevati.

Ogni *layer* interagisce solo con i *layer* sottostanti, pertanto è stato adottato un approccio di tipo *closed layer*.

5.3.2 Inversione del controllo

È stato fatto utilizzo del sistema di *dependency injection*_G messo a disposizione dal *framework* FastAPI. In particolare il file `jwt.py` espone le rotte `/verifyToken` e `/token` e delega le operazioni di verifica e generazione dei *JSON Web Token* alle funzioni fornite dalla classe `JWTDependencies`. Tramite l'oggetto `Depends` il router richiede le dipendenze `get_verified_payload` per verificare il *token* e `get_new_token` per generarne uno nuovo, lasciando che FastAPI risolva e inietti gli oggetti necessari prima dell'esecuzione dell'endpoint. Questo approccio sposta all'esterno la creazione delle dipendenze, permettendo di sostituire facilmente l'implementazione durante i test o in fase di configurazione dell'applicazione.

```
#Import necessari
from fastapi import APIRouter, Depends

from app.dependencies.jwt.jwt_dependencies import
    ↪ jwt_dependencies

#Definizione di un router API
jwt = APIRouter()

#Rotta API per verificare il token
@jwt.post("/verifyToken")
async def check_token(payload: dict =
    ↪ Depends(jwt_dependencies.get_verified_payload)):
    return {"message": "Token verified", "payload": payload}

#Rotta API per ottenere un nuovo token
@jwt.post("/token")
async def get_token(payload: dict =
    ↪ Depends(jwt_dependencies.get_new_token)):
    return payload
```

Codice 5.1: File `jwt.py`

```
class JWTDependencies:
    #Funzione che controlla il token e lancia un'eccezione se
    ↪ non è valido
    def get_verified_payload(
        self,
        credentials: HTTPAuthorizationCredentials =
            ↪ Security(HTTPBearer()),
    ) -> Dict[str, Any]:
        service = JWTService()
        success, result =
            ↪ service.verify_token(credentials=credentials)
        if not success:
            raise HTTPException(status_code=401,
                                ↪ detail=result["message"])
        return result

    #Funzione per il rilascio di un nuovo token
    def get_new_token(
        self,
        client_id: str = Form(...),
        client_secret: str = Form(...),
        session: Session = Depends(db_dependencies.get_session),
    ) -> Dict[str, Any]:
        service = JWTService(session=session)
        success, result = service.generate_token(
            client_id=client_id, client_secret=client_secret
        )
        if not success:
            raise HTTPException(status_code=401,
                                ↪ detail=result["message"])
        return result
```

Codice 5.2: Classe JWTDependencies

5.3.3 Design pattern comportamentali

È stato usato lo *strategy pattern* per definire una interfaccia per l'algoritmo di ordinamento. Tale scelta permetterà in futuro, se necessario, di riscrivere completamente la logica di schedulazione mantenendo la compatibilità con la restante logica del modulo, a patto che venga implementata la stessa interfaccia. La definizione viene fornita nel file `ordering_alg.py`.

```
from abc import ABC, abstractmethod
from datetime import datetime
from typing import Dict, List, Optional, Tuple

from app.models import Job, Printer, SchedulingResult


class OrderingAlg(ABC):
    @abstractmethod
    def schedule_jobs(
        self,
        jobs: List[Job],
        printers: List[Printer],
        base_datetime: datetime,
        initial_schedule: Optional[SchedulingResult] = None,
        is_last_schedule: bool = False,
        future_capacity_by_order: Optional[Dict[int, int]] =
            None,
    ) -> Tuple[bool, SchedulingResult]:
        pass
```

Codice 5.3: Interfaccia `schedule_jobs`

La lista dei parametri accettati è la seguente:

- `jobs`: lista di lavori da pianificare;

- `printers`: lista di stampanti disponibili;
- `base_datetime`: data e ora di riferimento da cui far partire la schedulazione;
- `initial_schedule`: eventuale risultato già calcolato da integrare;
- `is_last_schedule`: valore booleano che indica se l'elaborazione corrente è l'ultima;
- `future_capacity_by_order`: dizionario opzionale con chiave l'identificativo dell'ordine e valore la capacità già riservata in pianificazioni future.

5.3.4 Design pattern strutturali

È stato usato il *repository pattern*, tale approccio consiste nel creare delle classi (*repository*) dotate dei metodi necessari per leggere o scrivere il *database*. L'adozione di questo *design pattern* porta a diversi vantaggi, tra cui:

- Semplifica la logica di accesso ai dati, esponendo una interfaccia consistente per la lettura e la scrittura;
- Migliora la testabilità del sistema, in quanto ogni *repository* può essere sostituito facilmente da un *mock*;
- Migliora la pulizia e la leggibilità del codice;
- Permette di ridurre il tempo necessario ad un eventuale cambio di *database*, in quanto necessiterebbe solo di una riscrittura delle classi *repository*.

5.4 Struttura delle cartelle

La struttura delle cartelle adottata per il progetto è la seguente:

- **Mugalab-Automation**: cartella principale, contiene i file relativi alle *variabili d'ambiente*, alla configurazione di Docker, il file `requirements.txt`, utilizzato per tenere traccia di tutte le dipendenze del sistema e il file `.gitignore` che riferisce al *version control system* quali elementi ignorare;
 - **app**: cartella contenente tutto il codice sorgente;
 - * **api**: cartella contenente i file che dichiarano le rotte *API*;
 - * **contexts**: cartella contenente i file che dichiarano gli oggetti utilizzati come contesto;
 - * **db**: cartella che contiene i file che dichiarano i dati per la connessione con il *database*;
 - * **dependencies**: cartella che contiene i file che dichiarano le classi e le funzioni utilizzate per effettuare *dependency injection*;
 - * **interfaces**: cartella che contiene i file che dichiarano le interfacce;
 - * **models**: cartella che contiene i file che dichiarano i *modelli*, ovvero le classi che rappresentano le entità di dominio, validano i dati in ingresso e definiscono lo schema persistito nel database;
 - * **repositories**: cartella che contiene i file che dichiarano i *repository* usati per leggere e/o scrivere dati nel *database*;
 - * **services**: cartella che contiene le classi che contengono tutta la *logica di business*_G dell'applicazione.

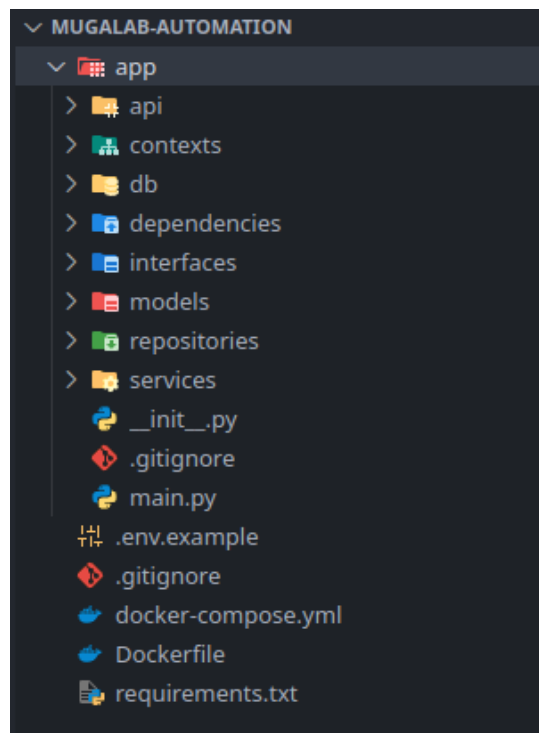


Figura 5.1: Struttura delle cartelle del progetto

5.5 Lista dei modelli

In questa sezione vengono descritti tutti i *modelli*.

5.5.1 Client

5.5.1.1 Scopo del modello

Rappresenta un *client* registrato e autorizzato ad utilizzare le rotte *API* esposte dal sistema. La struttura di questo *modello* definisce la tabella **clients** (vedi sezione [5.2.1](#)).

5.5.1.2 Definizione

```
from datetime import datetime

from sqlalchemy import Boolean, Column, DateTime, func
from sqlmodel import Field, SQLModel


class Client(SQLModel, table=True):
    __tablename__ = "clients"
    id: int | None = Field(default=None, primary_key=True)
    client_id: str = Field(nullable=False, unique=True,
        ↪ index=True)
    client_secret: str = Field(nullable=False)
    created_at: datetime = Field(
        default_factory=datetime.now,
        sa_column=Column(DateTime, server_default=func.now()),
    )
    is_active: bool = Field(default=True,
        ↪ sa_column=Column(Boolean, server_default="1"))
```

Codice 5.4: Definizione del model Client

5.5.2 JWTConfig

5.5.2.1 Scopo del modello

Questo *modello* definisce ed espone la configurazione dei *JSON Web Token*, in particolare definisce la chiave e l'algoritmo utilizzati per la firma e la scadenza in minuti.

5.5.2.2 Definizione

```
import os
from dataclasses import dataclass

@dataclass
class JWTConfig:
    secret_key: str = os.getenv("JWT_SECRET_KEY",
        ↪ "default-secret")
    algorithm: str = "HS256"
    expire_minutes: int = 60
```

Codice 5.5: Definizione del model JWTConfig

5.5.3 ScheduleRequest

5.5.3.1 Scopo del modello

Questo *modello* definisce e valida la struttura del corpo della richiesta da inviare per richiedere una pianificazione. In particolare ogni richiesta deve contenere:

- Una lista di `Order` (vedi [5.5.9](#));
- Una lista di `Printer` (vedi [5.5.13](#));
- Un intero che specifica l'identificativo dell'utente che effettua la richiesta;
- Una stringa che specifica il *token* da utilizzare per l'invio dei dati al gestionale.

5.5.3.2 Definizione

```
from typing import List

from pydantic import BaseModel

from ..order import Order
from ..printer import Printer


class ScheduleRequest(BaseModel):
    orders: List[Order]
    printers: List[Printer]
    user_id: int
    callback_token: str
```

Codice 5.6: Definizione del modello ScheduleRequest

5.5.4 ScheduleResponse

5.5.4.1 Scopo del modello

Questo *modello* definisce e valida la struttura del corpo della risposta, contenente la pianificazione, inviata al gestionale una volta terminato il calcolo dei risultati. In particolare ogni risposta deve contenere:

- Un risultato di tipo `SchedulingResult` (vedi [5.5.14](#))
- Una lista di `Order` (vedi [5.5.9](#));
- Un intero che specifica l'identificativo dell'utente che deve ricevere la pianificazione.

5.5.4.2 Definizione

```
from typing import List, Self

from pydantic import BaseModel

from ..order import Order
from ..scheduling_result import SchedulingResult


class ScheduleResponse(BaseModel):
    result: SchedulingResult
    orders: List[Order]
    user_id: int
```

Codice 5.7: Definizione del modello ScheduleResponse

5.5.5 PrinterSchedule

5.5.5.1 Scopo del modello

Questo *modello* definisce e valida la schedulazione proposta per una singola stampante. In particolare, ogni schedulazione deve contenere:

- Una lista di `ScheduledJob` (vedi [5.5.6](#));
- Un intero che indica i minuti di ritardo accumulati su quella specifica stampante;
- Un intero che specifica il conteggio dei lavori pianificati su quella stampante.

5.5.5.2 Definizione

```
from typing import List

from pydantic import BaseModel

from .scheduled_job import ScheduledJob


class PrinterSchedule(BaseModel):
    jobs: List[ScheduledJob]
    total_delay_minutes: int
    job_count: int
```

Codice 5.8: Definizione del modello PrinterSchedule

5.5.6 ScheduledJob

5.5.6.1 Scopo del modello

Questo *modello* definisce e valida una singola istanza di un lavoro pianificato. In particolare ogni lavoro pianificato deve contenere:

- Una stringa che indica il nome del lavoro;
- Una stringa che indica il materiale;
- Un oggetto di tipo `datetime` che indica data e ora di inizio del lavoro;
- Un oggetto di tipo `datetime` che indica data e ora di fine del lavoro;
- Un intero che indica la durata della stampa in minuti;
- Un intero che indica il ritardo nella esecuzione del lavoro in minuti;
- Un oggetto di tipo `Order` (vedi [5.5.9](#));
- Un oggetto di tipo `datetime` che la scadenza del lavoro;

- Un oggetto di tipo `Plate` (vedi [5.5.10](#)).

5.5.6.2 Definizione

```
from datetime import datetime

from pydantic import BaseModel

from ..order import Order
from ..plate import Plate


class ScheduledJob(BaseModel):
    job_name: str
    material: str
    start_time: datetime
    end_time: datetime
    duration_minutes: int
    delay_minutes: int
    order: Order
    deadline: datetime
    plate: Plate
```

Codice 5.9: Definizione del modello `ScheduledJob`

5.5.7 Summary

5.5.7.1 Scopo del modello

Questo *modello* definisce e valida le statistiche finali della pianificazione richiesta. In particolare ogni oggetto di tipo `Summary` deve contenere:

- Un intero che indica il numero totale di minuti di ritardo;
- Un intero che indica il numero totale di lavori pianificati;

- Un intero che indica lo stato del solutore (in base al calcolo di una soluzione ottima, accettabile o non accettabile);
- Un intero che indica il numero totale di cambi di materiale;
- Un intero che indica il *makespan_G* in minuti;

5.5.7.2 Definizione

```
from pydantic import BaseModel

class Summary(BaseModel):
    total_delay_minutes: int
    total_jobs: int
    solver_status: int
    total_material_changes: int
    total_makespan_minutes: int
```

Codice 5.10: Definizione del modello Summary

5.5.8 Job

5.5.8.1 Scopo del modello

Questo *modello* definisce e valida una singola istanza di un lavoro da pianificare. In particolare ogni oggetto di tipo **Job** deve contenere:

- Una stringa che indica il nome del lavoro;
- Un oggetto di tipo **time** che indica durata della stampa;
- Un oggetto di tipo **Plate** (vedi 5.5.10);
- Un oggetto di tipo **datetime** che indica la scadenza del lavoro;
- Un oggetto di tipo **Order** (vedi 5.5.9).

5.5.8.2 Definizione

```
from datetime import datetime, time
from typing import Optional

from pydantic import BaseModel

from .order import Order
from .plate import Plate


class Job(BaseModel):
    name: str
    time: time
    material: str
    plate: Plate
    end_time: datetime
    order: Order
```

Codice 5.11: Definizione del modello Job

5.5.9 Order

5.5.9.1 Scopo del modello

Questo modello definisce e valida una singola istanza di un ordine di produzione. In particolare ogni oggetto di tipo **Order** deve contenere:

- Un intero che indica l'identificativo dell'ordine;
- Un oggetto di tipo **date** che indica la scadenza dell'ordine;
- Una stringa che indica il codice dell'ordine;
- Un intero che indica i pezzi ordinati;

- Un intero che indica i pezzi già stampati;
- Un oggetto di tipo `PrinterWork` (vedi [5.5.12](#)).

5.5.9.2 Definizione

```
from datetime import date
from math import ceil

from pydantic import BaseModel

from .plate import Plate
from .printer_work import PrinterWork


class Order(BaseModel):
    id: int
    expiration_date: date
    number: str
    pcs_ordered: int
    pcs_printed: int
    printer_work: PrinterWork
```

Codice 5.12: Definizione del modello `Order`

5.5.10 Plate

5.5.10.1 Scopo del modello

Questo *modello* definisce e valida una singola istanza di un piatto di stampa. In particolare ogni oggetto di tipo `Plate` deve contenere:

- Un intero che indica l'identificativo del piatto;
- Un intero che indica il numero di pezzi presenti nel piatto;

- Un oggetto di tipo `time` che indica il tempo necessario per stampare un piatto.

5.5.10.2 Definizione

```
from datetime import time

from pydantic import BaseModel


class Plate(BaseModel):
    id: int
    pcs: int
    time: time
```

Codice 5.13: Definizione del modello `Plate`

5.5.11 PrinterMaterial

5.5.11.1 Scopo del modello

Questo *modello* valida e definisce una singola istanza di un materiale utilizzato per la stampa. In particolare ogni oggetto di tipo `PrinterMaterial` deve contenere:

- Un intero che indica l'identificativo del materiale;
- Una stringa che indica il nome del materiale.

5.5.11.2 Definizione

```
from pydantic import BaseModel

class PrinterMaterial(BaseModel):
    id: int
    name: str
```

Codice 5.14: Definizione del modello PrinterMaterial

5.5.12 PrinterWork

5.5.12.1 Scopo del modello

Questo *modello* valida e definisce una singola istanza di un articolo da stampare. In particolare ogni oggetto di tipo `PrinterWork` deve contenere:

- Un intero che indica l'identificativo dell'articolo;
- Una stringa che indica il nome dell'articolo;
- Un oggetto di tipo `PrinterMaterial` (vedi [5.5.11](#));
- Una lista di oggetti di tipo `Plate` (vedi [5.5.10](#)) che indica i formati di piatti di stampa disponibili per l'articolo.

5.5.12.2 Definizione

```
from typing import List

from pydantic import BaseModel

from .plate import Plate
from .printer_material import PrinterMaterial


class PrinterWork(BaseModel):
    id: int
    work_name: str
    printer_material: PrinterMaterial
    plates: List[Plate]
```

Codice 5.15: Definizione del modello PrinterWork

5.5.13 Printer

5.5.13.1 Scopo del modello

Questo *modello* definisce e valida una singola istanza di una stampante. In particolare ogni oggetto di tipo **Printer** deve contenere:

- Un intero che indica l'identificativo della stampante;
- Una stringa che indica il nome della stampante.

5.5.13.2 Definizione

```
from pydantic import BaseModel

class Printer(BaseModel):
    id: int
    name: str
```

Codice 5.16: Definizione del modello Printer

5.5.14 SchedulingResult

5.5.14.1 Scopo del modello

Questo *modello* valida e definisce una risultato di schedulazione. In particolare ogni oggetto di tipo `SchedulingResult` deve contenere:

- Un oggetto di tipo `Summary` (vedi [5.5.7](#));
- Un dizionario che associa ad ogni stampante un oggetto di tipo `PrinterSchedule` (vedi [5.5.5](#))

5.5.14.2 Definizione

```
from typing import Dict

from pydantic import BaseModel

from .responses.printer_schedule import PrinterSchedule
from .responses.summary import Summary


class SchedulingResult(BaseModel):
    summary: Summary
    printers: Dict[str, PrinterSchedule]
```

Codice 5.17: Definizione del modello SchedulingResult

5.5.15 TaskVariable

5.5.15.1 Scopo del modello

Questo *modello* definisce una variabile utilizzata dalla libreria Google OR-Tools (vedi [5.1.2.6](#)) per identificare un lavoro da pianificare. In particolare ogni oggetto di tipo `TaskVariable` deve contenere:

- Un oggetto di tipo `IntVar` che rappresenta l'istante di inizio del lavoro espresso in minuti rispetto all'orario di inizio della schedulazione;
- Un oggetto di tipo `IntVar` che rappresenta l'istante di fine del lavoro espresso nello stesso riferimento temporale;
- Un oggetto di tipo `IntVar` che agisce come variabile booleana per indicare se il lavoro è stato assegnato a una stampante;
- Un oggetto di tipo `IntervalVar` che collega inizio, durata e fine della lavorazione e permette al solutore di imporre i vincoli di non sovrapposizione;

- Una stringa che indica il materiale richiesto dal lavoro;
- Un intero che indica la durata del lavoro in minuti;
- Un intero che rappresenta la deadline del lavoro in minuti rispetto all'orario di inizio della schedulazione;
- Un oggetto di tipo `Job` (vedi 5.5.8) che mantiene un riferimento al lavoro originale.

5.5.15.2 Definizione

```
from dataclasses import dataclass

from ortools.sat.python.cp_model import IntervalVar, IntVar

from .job import Job

@dataclass
class TaskVariable:
    start: IntVar
    end: IntVar
    assigned: IntVar
    interval: IntervalVar
    material: str
    duration: int
    deadline: int
    job_instance: Job
```

Codice 5.18: Definizione del modello `TaskVariable`

5.6 Sicurezza del sistema

Capitolo 6

Verifica e validazione



Figura 6.1: Lorem

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna,

vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Lorem ipsum:

```
def recur_fibo(n):
    if n <= 1:
        return n
    else:
        return(recur_fibo(n-1) + recur_fibo(n-2))

nterms = 10

if nterms <= 0:
    print("Plese enter a positive integer")
else:
    print("Fibonacci sequence:")
    for i in range(nterms):
        print(recur_fibo(i))
```

Codice 6.1: Fibonacci recursive

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Capitolo 7

Conclusioni

7.1 Consuntivo finale

Esempio di aggiunta di un termine con glossario e acronimo:

Lorem *Software Development Kit (SDK)*_G ipsum dolor.

Nel successivo utilizzo, apparirà solo l'acronimo:

Lorem *SDK*_G.

Nel caso si voglia invece mettere solo il termine per esteso, si può usare:

Lorem *Software Development Kit*_G.

7.2 Raggiungimento degli obiettivi

Esempio di termine con solo acronimo

Lorem *Termine solo acronimo (TSA)*_G, ipsum dolor sit amet

termine costruito senza acronimo: Lorem *Nome del termine*_G, ipsum dolor sit amet

7.3 Conoscenze acquisite

Lorem Ipsum dolor Lorem *Application Program Interface (API)*_G

Lorem Ipsum dolor Lorem *Application Program Interface*_G

Si può consultare il file *glossary_acronyms.tex* per alcuni esempi.

7.4 Valutazione personale

7.5 Valutazione personale

Bibliografia

Testi

James P. Womack, Daniel T. Jones. *Lean Thinking, Second Editon*. Simon & Schuster, Inc., 2010.

Articoli

Einstein, Albert, Boris Podolsky e Nathan Rosen. «Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?» In: *Physical Review* 47.10 (1935), pp. 777–780. DOI: [10.1103/PhysRev.47.777](https://doi.org/10.1103/PhysRev.47.777).

Sitografia

Documentazione ufficiale Conventional Commits 1.0.0. URL: <https://www.conventionalcommits.org/en/v1.0.0/> (cit. a p. 6).

Framework Scrum. URL: [https://it.wikipedia.org/wiki/Scrum_\(informatica\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Scrum_(informatica)) (cit. a p. 7).

Framework Scrum. Licenza: CC BY-SA 4.0; l'immagine SVG originale è stata convertita in PNG per l'inclusione nel documento. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Scrum_process.svg (visitato il giorno 23/10/2025).

Kanban board. Licenza: CC BY-SA 4.0; l'immagine SVG originale è stata convertita in PNG per l'inclusione nel documento. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Abstract_Kanban_Board.svg (visitato il giorno 25/10/2025).

Manifesto Agile. URL: <http://agilemanifesto.org/iso/it/> (cit. a p. 7).

OpenAPI. Sito ufficiale documentazione OpenAPI. URL: <https://swagger.io/specification/> (visitato il giorno 08/11/2025) (cit. a p. 25).

Pattern a layer. Spiegazione pattern a layer. URL: https://dev.to/yasmine_ddec94f4d4/understanding-the-layered-architecture-pattern-a-comprehensive-guide-1e2j#1-separation-of-concerns (visitato il giorno 08/11/2025).

Pydantic. Sito ufficiale Pydantic. URL: <https://docs.pydantic.dev/latest/> (visitato il giorno 08/11/2025) (cit. a p. 25).

Python. Sito ufficiale Python. URL: <https://www.python.org/> (visitato il giorno 08/11/2025) (cit. a p. 25).

Repository pattern. Spiegazione repository pattern. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/system-design/repository-design-pattern/> (visitato il giorno 13/11/2025).

Sito Mugalab. URL: <https://mugalab.com/> (cit. a p. 1).

Sito Spazio Dev. URL: <https://spaziodev.eu/> (cit. a p. 1).

Sito ufficiale Git. URL: <https://git-scm.com/> (cit. a p. 5).

Sito ufficiale Gitea. URL: <https://about.gitea.com/> (cit. a p. 5).

Sito ufficiale Plane. URL: <https://plane.so/> (cit. a p. 8).

Spiegazione completa Gitflow workflow. URL: <https://www.atlassian.com/git/tutorials/comparing-workflows/gitflow-workflow> (cit. a p. 5).

Telegram. Sito ufficiale Telegram. URL: <https://telegram.org> (visitato il giorno 23/10/2025) (cit. a p. 9).