



Università degli Studi di Padova

---

DIPARTIMENTO DI MATEMATICA "TULLIO LEVI-CIVITA"

CORSO DI LAUREA IN INFORMATICA

# Concorrenza vs distribuzione nella digital industry. Il caso Sanmarco Informatica

*RELATORE*

PROF. ARMIR BUJARI  
UNIVERSITÀ DI PADOVA

*CANDIDATO*

DAVIDE BARASTI

Anno Accademico 2018-2019

---

DEDICATO ALLA MIA FAMIGLIA, CHE NON DARÒ MAI PER SCONTATA

---

# Abstract

Dalla prima rivoluzione industriale il modo di fare industria è radicalmente cambiato. Quando nel 1968 venne creato il primo PLC sicuramente non si pensava che un giorno si sarebbe arrivati ad avere fabbriche distribuite nel globo in costante comunicazione tramite la rete Internet.

Sanmarco Informatica nel 2018 sviluppò un'applicazione in grado di interagire con i PLC delle macchine industriali con una visione ottimistica che vedeva queste macchine distribuite in diverse posizioni geografiche.

Purtroppo questa visione andò oltre i bisogni dei clienti abituati a stabilimenti centralizzati, facendo scontrare i tecnici del prodotto con i problemi di un complicato e delicato sistema con architettura distribuita.

Sanmarco informatica ha quindi elaborato la proposta di un progetto che richiede lo sviluppo di una nuova applicazione in grado di soddisfare i requisiti di base della versione precedente, questa volta con un'architettura puramente concorrente.

Questo documento raccoglie i punti fondamentali dell'esperienza di stage svolta presso Sanmarco Informatica.

---

# Indice

I	INTRODUZIONE	I
1.1	Sanmarco Informatica SpA . . . . .	I
1.1.1	L'azienda . . . . .	I
1.1.2	Il team di sviluppo . . . . .	3
1.2	La Digital Industry . . . . .	5
1.2.1	L'industria 4.0 . . . . .	5
1.2.2	Manufacturing execution system . . . . .	6
1.3	La proposta di stage . . . . .	7
1.3.1	Il progetto . . . . .	7
1.3.2	Gli obiettivi . . . . .	7
1.4	Organizzazione del Documento . . . . .	9
2	BACKGROUND TECNOLOGICO	II
2.1	Il software JMES . . . . .	II
2.2	Controllori a Logica Programmabile . . . . .	13
2.3	L'interazione macchina-MES: JDI . . . . .	14
2.4	Digital Industry e protocolli . . . . .	16
2.4.1	Modbus . . . . .	17
2.4.2	Modbus TCP/IP . . . . .	17
2.5	Tecnologie e strumenti impiegati . . . . .	18
3	LE PROBLEMATICHE	2I
3.1	Lo sviluppo precedente di JDI . . . . .	2I
3.1.1	I problemi emersi . . . . .	23
3.1.2	Studio della prima versione . . . . .	24
3.2	Il nuovo sviluppo . . . . .	26
3.2.1	I requisiti del progetto . . . . .	27
3.2.2	Anticipo soluzione . . . . .	33
3.2.3	Organizzazione temporale . . . . .	34
4	PROGETTAZIONE, CODIFICA E TEST	35
4.1	Realizzazione proof of concept . . . . .	35
4.1.1	Prima iterazione . . . . .	36
4.1.2	Seconda iterazione . . . . .	39
4.2	Benchmark . . . . .	4I

---

4.3	Progettazione prototipo . . . . .	44
4.3.1	File di configurazione . . . . .	46
4.3.2	Analisi del file di configurazione . . . . .	48
4.3.3	Lettura . . . . .	49
4.3.4	Scrittura . . . . .	50
4.3.5	Gestione valori letti . . . . .	52
4.3.6	Gestione richieste di scrittura . . . . .	52
4.4	Verifica e validazione . . . . .	54
5	RETROSPETTIVA . . . . .	57
5.1	Soddisfazione degli obiettivi . . . . .	57
5.2	Sviluppi futuri . . . . .	59
5.3	Considerazioni finali . . . . .	59
	RINGRAZIAMENTI . . . . .	63
	ACRONIMI . . . . .	65
	GLOSSARIO . . . . .	67
	RIFERIMENTI . . . . .	71



# Elenco delle figure

1.1	Logo BU Jmes . . . . .	2
1.2	Insieme delle BU di Sanmarco Informatica . . . . .	2
1.3	Una visione temporale delle rivoluzioni industriali fino ad oggi . .	5
2.1	Rappresentazione dei <i>layer</i> di JMES . . . . .	12
2.2	Schema di un classico PLC e dei suoi moduli . . . . .	13
2.3	Interazioni tra operatore e JMES . . . . .	14
2.4	Rappresentazione di come JDI si integra nei sistemi di produzione e con JMES . . . . .	15
2.5	<i>Stack</i> di comunicazione di Modbus.[1] . . . . .	17
2.6	(a) <i>layer</i> di Modbus TCP/IP; (b) <i>frame</i> Modbus TCP/IP.[2] . . .	17
2.7	Vista del software <i>Modbus PLC Simulator</i> . . . . .	19
3.1	Architettura a nodi <i>Router/Link</i> della prima versione di JDI . . . .	23
4.1	Schema logico prima iterazione PoC di JDI . . . . .	37
4.2	Test di performance per <i>ConcurrentHashMap</i> . Nelle ordinate il tempo impiegato per l'operazione, nelle ascisse il numero di elementi scritti nelle mappe. . . . .	38
4.3	Schema logico seconda iterazione PoC di JDI . . . . .	39
4.4	Interfaccia di GitKraken che mostra come ho tenuto traccia dei diversi <i>benchmark</i> effettuati . . . . .	41
4.5	Grafico scalabilità concorrenza di <i>ConcurrentHashMap</i> . . . . .	43
4.6	Schema architettura JDI . . . . .	45
4.7	Diagramma delle classi del componente <i>Configurator</i> . . . . .	48
4.8	Diagramma delle classi del componente che contiene <i>TagPoller</i> e <i>TagUpdater</i> . . . . .	49
4.9	Diagramma delle classi principali del componente contenente le <i>repository</i> . . . . .	52



# Elenco delle tabelle

1.1	Obiettivi obbligatori e desiderabili di progetto . . . . .	8
3.1	Tabella requisiti . . . . .	32
4.1	Risultati benchmark per la scelta della struttura dati . . . . .	42
5.1	Riassunto obiettivi obbligatori e desiderabili con stato di completamento . . . . .	58



# 1

## Introduzione

Prima di affrontare il problema oggetto di questa tesi è doveroso fornire una panoramica del contesto aziendale che ha caratterizzato lo stage svolto. In questo modo i capitoli successivi risulteranno più chiari e inseriti in una propria logica.

### 1.1 SANMARCO INFORMATICA SPA

#### 1.1.1 L'AZIENDA

L'azienda Sanmarco Informatica (SMI) dal 1984 si occupa di consulenza e sviluppo software. Si è specializzata nella progettazione, realizzazione e installazione di soluzioni a supporto dei processi aziendali di duemila aziende con numerose installazioni oltre confine.

L'azienda ha tra i suoi punti di forza quello della vicinanza ai clienti, che si traduce in diverse sedi di proprietà in Veneto, Lombardia, Emilia-Romagna e Friuli-Venezia Giulia con 450 dipendenti totali.

Il Centro Ricerca e Sviluppo (CRS) è situato a Grisignano di Zocco (VI), sede di lavoro per oltre 150 dipendenti. Questo è il fulcro dello sviluppo e della manutenzione dei prodotti software. Team di sviluppatori e sistemisti sono coordinati per garantire stabilità di servizio per i clienti, e un'alta personalizzazione dei prodotti offerti.

La ricerca e l'innovazione sono di grande valore per SMI, con una media del 20% di fatturato investito annualmente in ricerca e sviluppo. Sono anche numerose le risorse impiegate nella formazione e ricerca di talenti provenienti dall'Università di Padova. Un esempio di questo è il progetto *Academy* che viene descritto nel seguente modo: "Lo scopo è quello di educare giovani allievi da inserire direttamente nel mondo lavorativo, attraverso un percorso di eccellenza che forma figure professionali altamente qualificate." [3].

Il CRS è anche responsabile per l'erogazione dei servizi *cloud* forniti da SMI. È infatti presente una sala *server* amministrata da tecnici sistemisti.

Tutta la proprietà operativa di SMI rimane in azienda, senza il bisogno di *outsourcing* ad aziende esterne.

L'azienda è organizzata in *Business Unit (BU)*, un sottoinsieme dell'impresa che rappresenta un *business* specifico concentrato su una particolare linea di prodotti.

La BU interessata dallo stage è JMES, composta da venti persone tra sistemisti e sviluppatori, che si occupa di sviluppare e mantenere l'omonimo applicativo MES utilizzato nell'ambito della *digital industry*. Questo software serve a gestire e supervisionare l'avanzamento della produzione all'interno della fabbrica.



Figura 1.1: Logo BU Jmes

Altre BU si occupano invece di *Business Process Management (JPA)*, gestione contenuti aziendali come manuali e documenti della qualità (Discovery ECM), *marketing* (nextBI), sviluppo di applicazioni e siti per aziende (4words) e molto altro.

Ulteriori informazioni riguardanti le BU o l'azienda in generale possono essere trovate sul sito ufficiale di **Sanmarco Informatica**.



Figura 1.2: Insieme delle BU di Sanmarco Informatica

## 1.1.2 IL TEAM DI SVILUPPO

Come accennato nella sezione precedente esistono due squadre che lavorano in maniera sinergica per lo sviluppo e l'installazione del prodotto JMES:

- **Sviluppatori.** Sono raggruppati all'interno del team di JMES e si occupano di implementare le funzionalità aggiuntive richieste dai clienti. Le richieste possono provenire da un singolo cliente o essere inserite in distribuzioni di aggiornamento per tutte le installazioni. La differenza sta nel valore monetario dell' *update*. La figura a cui fanno riferimento è lo *Scrum Master*. Ad agosto 2019 il team è composto da otto persone;
- **Sistemisti.** Effettuano un'analisi tecnica presso le sedi dei clienti evidenziando possibili problemi di compatibilità con le attrezzature presenti, propongono le diverse configurazioni del software JMES in base a requisiti e vincoli posti dal cliente e organizzano l'installazione e la configurazione del prodotto. La figura a cui fanno riferimento è il capo progetto. Ad agosto 2019 il gruppo è composto da dieci persone.

Per il periodo dello stage sono stato inserito nel team di sviluppo JMES.

La prima installazione di JMES risale a maggio 2018. È quindi un prodotto giovane che nonostante ciò ha riscontrato rapidamente successo. Sono attualmente presenti 19 clienti attivi, ci sono inoltre 27 analisi per l'installazione in corso e altre 19 in via di pianificazione.

## SVILUPPO AGILE E FRAMEWORK SCRUM

Indipendentemente dalle BU aziendali, la metodologia di lavoro per la gestione del ciclo di sviluppo del software è Agile, implementata con il *framework* Scrum.

Agile è una disciplina per lo sviluppo di software che pone al primo posto tra i suoi principi la soddisfazione e il coinvolgimento del cliente e la distribuzione di software funzionante in maniera regolare e a distanza di brevi periodi, dalle due settimane ai due mesi.

Il *framework* Scrum prevede di suddividere un periodo di lavoro, chiamato *sprint cycle*, in tre fasi principali:

- *Planning*: il team comunica con gli *stakeholder* (rappresentati dal *product owner*), analizza e comprende i requisiti creando lo *sprint backlog*, composto di requisiti che il prodotto deve soddisfare entro la fine dello *sprint*. Questi prendono il nome di *story* se sono completabili entro uno sprint. Un insieme correlato di *story* si chiama *epic*;
- *Implementation*: durante questa fase dello *sprint* il team crea delle porzioni complete di prodotto. Le funzionalità implementate in uno *sprint* provengono dallo *sprint backlog*. La durata di questa fase è, nel caso del team JMES, quattro settimane;
- *Review*: ci si riunisce per revisionare il lavoro svolto e pianificare ciò che non è stato possibile portare a termine nella fase di *implementation*. Ogni membro del team mostra una *demo* delle funzionalità sviluppate nella fase precedente;
- *Retrospective*: vengono analizzate in modo retrospettivo le fasi precedenti in un'ottica di miglioramento continuo dei processi al fine di renderli più efficienti negli sprint successivi. Si discute di strumenti e metodologie utilizzate e di come queste abbiano influito nello sviluppo. Se vengono ritenute poco utili, la loro pratica viene dismessa.

## STRUMENTI E TECNOLOGIE DI SVILUPPO DEL TEAM

Al centro degli strumenti per la gestione del flusso di lavoro del team JMES c'è uno strumento sviluppato da IBM, *Rational Team Concert* (RTC). Questo integra le seguenti funzionalità:

- Versionamento del codice;
- Gestione dei *work item* provenienti dallo *sprint backlog* (*issue tracking system*);
- *Build tool*.

RTC si integra all'interno dell'ambiente di sviluppo del team grazie a un *plug-in* completo per l'IDE Eclipse;



## 1.2 LA DIGITAL INDUSTRY

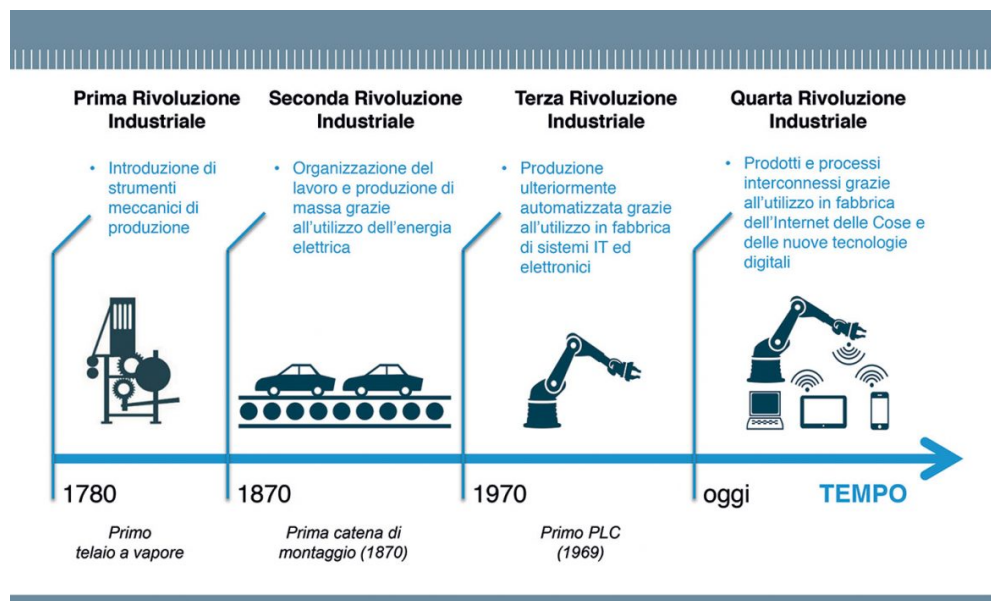
## 1.2.1 L'INDUSTRIA 4.0

L'avvento e la crescita di internet hanno rivoluzionato il modo di fare impresa in particolare nell'ambito industriale.

Ciò che prima era un impianto isolato, con operatori e responsabili, ora è parte di una catena produttrice interconnessa che genera non solo beni tangibili ma anche dati che, se ben gestiti, possono diventare informazione utilizzata per aumentare l'efficienza dell'intera impresa in un delicato ciclo di *feedback*.

La corretta gestione di questa informazione diventa fondamentale per il successo dell'impresa poiché mantiene alta la competitività.

Questi nuovi aspetti vengono spesso riassunti nel termine *quarta rivoluzione industriale*, un altro termine comune in questo ambito è infatti *Industry 4.0*.



**Figura 1.3:** Una visione temporale delle rivoluzioni industriali fino ad oggi

Nasce quindi la necessità di un software che trasformi il dato in informazione e che faccia uso di questa per migliorare le *performance* supportando e gestendo a sua volta tutta la linea di produzione con indicazioni precise e in tempo reale.

Questo strumento prende il nome di *Manufacturing Execution System (MES)*.

Un software MES in pratica si occupa di raccogliere, elaborare e condividere informazioni provenienti direttamente dall'industria che normalmente restano disaggre-

gate per diversi motivi: si trovano in formato non elettronico, sono poco precise o si trovano in ambienti isolati tra loro.

### 1.2.2 MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM

Il controllo e la gestione dell'informazione consentono non solo di mantenere un piano generale del processo produttivo aziendale, ma anche di evidenziare possibili problemi in anticipo e ottenere quindi una migliore resa di produzione.

Vediamo quali sono i principali benefici di un sistema MES[4]:

1. Riduzione di scarti e sprechi. Grazie ad una visione in tempo reale della produzione, è possibile individuare con piccoli margini situazioni in cui le unità prodotte non sono conformi, fermando la produzione e limitando gli sprechi;
2. Precisione nella definizione dei costi. Con un sistema MES, i tempi di lavoro, gli sprechi, i tempi di inattività, la manutenzione sono monitorati e registrati in tempo reale direttamente dalla fabbrica. Questo rende innanzitutto l'informazione più affidabile, è poi utilizzabile per riclassificare i costi e valutare criticamente situazioni con alto tasso di sprechi;
3. Riduzione dei tempi di inattività. Siccome una produzione ferma difficilmente porta a un guadagno, un MES deve essere in grado di pianificare la produzione in modo che le risorse necessarie siano quelle disponibili, integrando anche i piani dei turni dei dipendenti, in modo da aumentare ulteriormente l'efficienza, riducendo quindi i costi;
4. Riduzione del magazzino. Le giacenze in magazzino costano, perché aumentano i costi logistici di gestione, oltre ai costi per produrre tali giacenze. Con un MES si ha uno stato aggiornato della nuova produzione, degli scarti e dei prodotti non conformi. In questo modo chi si occupa di acquisto, spedizione e pianificazione sa esattamente cosa è disponibile e cosa bisogna ordinare;
5. Riduzione di costi. Con un controllo più stretto sui tempi e i costi necessari per la produzione, è possibile snellire ulteriormente processi a supporto, come la gestione logistica del magazzino, quindi ottenendo un disimpegno di persone e attrezzature.

### 1.3 LA PROPOSTA DI STAGE

#### 1.3.1 IL PROGETTO

SMI nel 2018 ha sviluppato un applicativo per il collegamento dei dispositivi PLC all'attuale software MES. L'applicativo è stato sviluppato pensando ad una distribuzione su più stabilimenti e quindi realizzato come sistema a servizi controllati e sincronizzati a loro volta da un ulteriore servizio.

La realtà dei fatti ha però dimostrato che tale applicativo viene installato solo ed esclusivamente su un unico server per azienda. Questo ha evidenziato come la struttura a servizi portasse ad un consumo eccessivo di risorse condivise ma replicate.

Il progetto in cui sono stato inserito, una volta raccolti i requisiti, ha avuto come obiettivo la trasformazione di tale infrastruttura in un unico pacchetto installabile all'interno di un *web server Apache Tomcat*. Il principale vincolo posto è stato l'utilizzo di un approccio puramente concorrente, in contraddizione con la versione precedentemente sviluppata.

#### 1.3.2 GLI OBIETTIVI

Durante le riunioni di definizione del piano di lavoro dello stage sono stati evidenziati dal tutor aziendale diversi punti critici. Questi sono stati classificati in obbligatori e desiderabili. Obbligatori per indicare che il mancato soddisfacimento di tali bersagli porterebbe ad una valutazione non soddisfacente dell'esperienza. Desiderabili vengono intesi gli obiettivi che aiuterebbero ad elevare l'importanza del progetto. Per comodità sono raccolti nella seguente tabella.

Obiettivo	Tipologia
Analisi dell'attuale infrastruttura e delle problematiche che hanno portato alla scelta di modificare l'architettura	Obbligatorio
Analisi omnicomprensiva della nuova architettura	Obbligatorio

Studio di fattibilità in termini "tecnologici" (ossia reperimento e/o sviluppo di componentistica necessaria alla realizzazione) e relativi banchmark di confronto	Obbligatorio
Sviluppo prototipo al fine di testare le soluzioni trovate e le performance effettive delle stesse (in termini di tempo di esecuzione, scalabilità e risorse impegnate)	Desiderabile

**Tabella 1.1:** Obiettivi obbligatori e desiderabili di progetto

#### 1.4 ORGANIZZAZIONE DEL DOCUMENTO

L'obiettivo di questo documento è di raccogliere e tradurre a parole l'esperienza fatta durante lo stage curricolare presso Sanmarco Informatica svolto nel periodo 10 giugno 2019 - 8 agosto 2019. A partire dal prossimo capitolo si toccheranno tutti gli argomenti tecnici trattati:

- Nel capitolo Background Tecnologico verranno analizzate più nel dettaglio le tecnologie già citate in questo capitolo, come il software JMES. Sono introdotti i linguaggi di programmazione utilizzati e gli strumenti per lo sviluppo e la gestione del codice;
- Nel capitolo Le Problematiche vengono presentate le difficoltà che hanno poi condotto alla ricerca di una soluzione attraverso il progetto di stage. Verrà analizzato il sistema precedentemente sviluppato da SMI e si presenteranno i requisiti estratti da questo;
- Il capitolo 4 riassume l'attività di realizzazione del Proof of Concept (PoC) esplorativo utilizzato per effettuare *benchmark* prestazionali sui requisiti chiave. Lo sviluppo prevede poi la progettazione e la codifica di un prototipo che servirà al termine dello stage come base per il team che continuerà lo sviluppo;
- Infine nel capitolo 5 raccolgo le impressioni dell'esperienza di stage all'interno di SMI, di quale preparazione ho sentito la mancanza e per quali aspetti ho più apprezzato il corso di studi.

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

- Gli acronimi di uso non comune saranno indicati nella loro prima apparizione nel testo in forma estesa. In seguito verrà indicata solo la loro abbreviazione. L'elenco degli acronimi è situato alla fine del presente documento;
- I termini ambigui o di uso non comune menzionati vengono definiti nel glossario, situato alla fine del presente documento;
- I termini in lingua straniera o facenti parti del gergo tecnico sono evidenziati con il carattere corsivo.
- Quando necessario e utile per la lettura, all'inizio della sezione sono riportati i termini fondamentali con relative definizioni.



# 2

## Background Tecnologico

In questo capitolo si fornirà una introduzione alle tecnologie che risulterà utile per comprendere al meglio i capitoli successivi.

Gli argomenti trattati saranno principalmente JMES, JDI e alcuni standard della digital industry (e.g. protocollo Modbus)

### 2.1 IL SOFTWARE JMES

Nella sezione 1.2.2 sono stati individuati i principali benefici che l'utilizzo di un software MES porta.

Vediamo quali sono i benefici che JMES, l'implementazione MES di SMI intende portare ai clienti con il suo prodotto:

1. Avanzamento processi produttivi. L'informazione sull'avanzamento della produzione è disponibile in tempo reale, permettendo una gestione più flessibile del lavoro. Ad esempio gli uffici commerciali che si trovano in sede distaccata dal centro produttivo possono avere informazioni dettagliate sullo stato di avanzamento di un ordine in breve tempo, senza nemmeno interpellare gli operatori o i responsabili di produzione;
2. Gestione materiali. La disponibilità in magazzino dell'ordine completato è immediatamente rilevata, permettendo un proseguimento di processo più reattivo. Si pensi ad esempio alla possibilità di richiedere una spedizione appena l'ordine risulta saldato;

3. *Monitoring* dei processi. Oltre all'avanzamento del singolo ordine, di interesse specialmente per operatori e impiegati, è possibile effettuare il monitoraggio al fine di supportare la *business intelligence* aziendale, cioè l'insieme delle strategie usate dall'impresa per analizzare i dati di produzione (stato dell'impianto, individuazione dei problemi, macchinari che portano spesso a rallentamenti);
4. Consuntivazione. Il beneficio per cui i sistemi MES nascono: rilevare i tempi di processo per valutare il discostamento da quanto preventivato. Impiegare più tempo del previsto significa ridurre il margine di guadagno che all'estremo può portare ad una perdita. Rilevare gli scostamenti permette di arrivare principalmente a due conclusioni:
  - Lo standard di valutazione è errato, ottenendo dalla serie storica dei rilevamenti una conferma che il processo produttivo non è in grado di rispettare i tempi preventivati;
  - Il processo è migliorabile. Ci sono delle casistiche che portano ad una degradazione occasionale dei tempi di produzione. Ad esempio fermi macchina ricorrenti o operatori non abbastanza efficienti.

La possibilità di rilevare queste informazioni permette di accorgersi in tempo di situazioni critiche in cui ad esempio i rilevamenti effettuati si allontanano dal piano di budget;

5. Progetto carta zero. Grazie alla gestione software della produzione, si riduce la carta circolante spesso utilizzata per tracciare le fasi degli impianti, per registrare le interazioni operatore-macchina e per le stampe di documenti tecnici di assemblaggio.

L'applicazione JMES presenta un'architettura a *layer* schematizzata in figura 2.1. Si tratta di un'applicazione che utilizza *AngularJS* per l'interfaccia grafica e si affida a servizi *web* esposti da un'applicazione Java su *web server Apache Tomcat* per gestire i flussi di dati *front-end/back-end*.

Poiché l'applicazione oggetto di questa tesi non è logicamente legata al software JMES, non risulta utile ai fini della comprensione analizzare dettagliatamente la sua composizione.

Dalla sezione 2.3 si sottolineerà la mancanza in JMES di un collegamento alle macchine industriali, che fino ad ora è stato dato

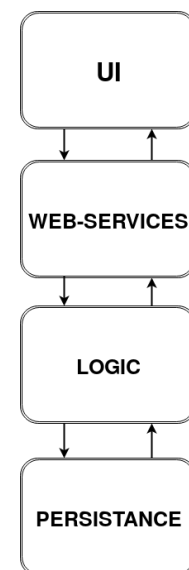


Figura 2.1: Rappresentazione dei layer di JMES



per scontato. Scopriremo invece che questo elemento non è fondamentale in un sistema MES, e non è quindi sempre presente, ma può aumentarne l'efficienza e l'usabilità.

## 2.2 CONTROLLORI A LOGICA PROGRAMMABILE

PLC sta per *Programmable Logic Controller*, controllore a logica programmata. Si tratta di un computer ideato per il mondo industriale. Controlla differenti processi ed è programmato in base ai requisiti del processo a cui viene applicato.

Molte industrie mettono in pratica processi produttivi specifici, ad esempio per la creazione di un certo bene. Modificare questo processo richiede il rifacimento di gran parte dell'apparato produttivo utilizzato, ad un costo estremamente elevato.

Per superare questo problema una prima versione del PLC fu inventata da *Dick Morley*, che al tempo lavorava per *Modicon*, nel 1968[5]. Un PLC può essere in breve descritto come un sistema di controllo che contiene la definizione di una sequenza programmata.

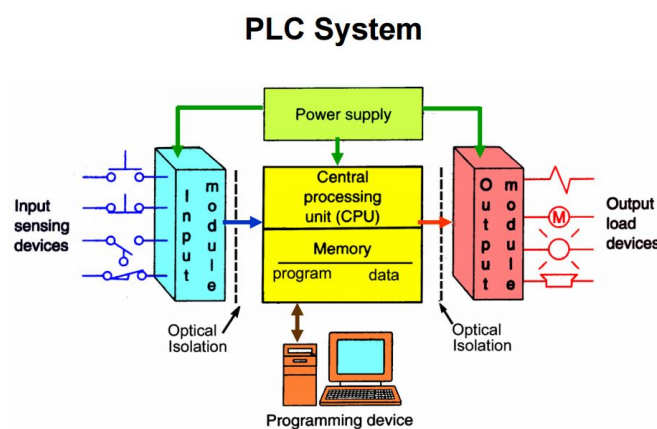


Figura 2.2: Schema di un classico PLC e dei suoi moduli.[6]

comprendibili. Il linguaggio più comune è *Ladder Diagram*. I programmi sono scritti su normali computer per poi essere trasferiti ai PLC via cavo o via rete.

Questi controllori sono stati ideati per sostituire i componenti elettrici (soprattutto relé e *timer*) con collegamenti fissi che caratterizzavano i vecchi impianti elettrici

I PLC sono modulari, quindi componibili in diverse configurazioni. I moduli fondamentali sono quelli di *input* e di *output*. Entrambi sono in grado di gestire segnali analogici e digitali. Sono progettati per essere robusti e per resistere a difficili condizioni atmosferiche.

Sono programmabili con linguaggi di programmazione ad alto livello che sono facilmente

nei processi industriali, rendendo più semplice ed economico riconfigurare un impianto.

I PLC hanno anche degli svantaggi. Non sono generalmente in grado di gestire dati complessi, non sostituiscono quindi i computer. Hanno inoltre bisogno di moduli ulteriori per permettere la visualizzazione di dati.

### 2.3 L'INTERAZIONE MACCHINA-MES: JDI

Con un sistema MES tradizionale esistono due tipi di interazione: uomo-macchina e uomo-MES. La prima consiste nell'insieme di azioni che l'operatore svolge sulla macchina per avanzare nel processo produttivo, la seconda consiste nella dichiarazione delle azioni svolte dall'operatore al sistema MES.

Si consideri ad esempio l'azione che un operatore può svolgere su una macchina per il taglio laser: l'operaia o l'operaio effettua una o più operazioni di taglio. Una volta terminate deve dichiarare al sistema MES utilizzato nello stabilimento che ha terminato il lavoro e ha portato a termine  $X$  tagli validi, ha prodotto  $Y$  scarti e che il macchinario si è bloccato  $Z$  volte.

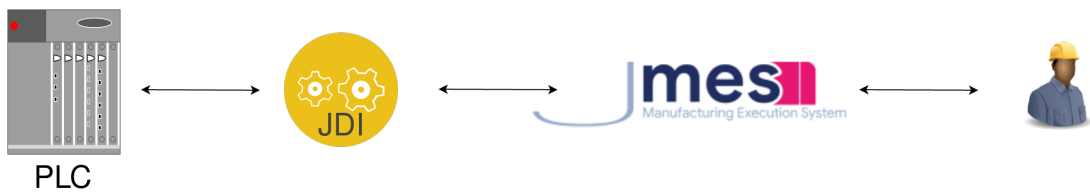
Questo approccio può generare un bias che consiste nella differenza tra quanto effettivamente svolto durante la prima interazione e quanto dichiarato nella seconda, in quanto l'operatore può accidentalmente compiere degli errori durante le dichiarazioni manuali.

Per questo il mercato ha richiesto a SMI una soluzione in grado di permettere una maggiore precisione delle rilevazioni di produzione.



Figura 2.3: Interazioni tra operatore e JMES

L'elaborazione di questo bisogno ha portato a considerare l'introduzione di una terza interazione ai fini di ridurre quando possibile l'interazione operatore-MES. In una visione semplicistica dello scenario questa interazione può essere definita come tra la macchina e il sistema JMES. Nella pratica però si tratta di inserire un terzo attore che si occupi di fornire a JMES tutti i dati ricavati dalla macchina (o meglio, come vedremo, dal PLC collegato alla macchina). Questo attore si chiama JDI, acronimo ideato da SMI che significa *Java Digital Industry*.



**Figura 2.4:** Rappresentazione di come JDI si integra nei sistemi di produzione e con JMES

Alle macchine industriali moderne è quasi sempre collegato un PLC che si occupa di comandare la macchina a cui è connesso. Inoltre elabora e immagazzina i dati che vengono generati relativi ad esempio al numero di pezzi prodotti, lo stato degli allarmi o l'interruzione di funzionamento della macchina.

JDI è un prodotto a se stante, indipendente da JMES. L'idea alla base di questo prodotto è un software che si interfaccia con i PLC nelle aziende dei clienti per intercettare i dati immagazzinati. Questi dati sono accuratamente gestiti e resi disponibili oltre a JMES, ad altre applicazioni della famiglia SMI.

## 2.4 DIGITAL INDUSTRY E PROTOCOLLI

Esistono decine di produttori di PLC e spesso ognuno implementa i propri protocolli[7]. Le aziende clienti di SMI presentano una grande variegatura di tipologie di PLC e relative politiche di comunicazione. Di seguito una lista con degli esempi di protocolli supportati da SMI per i suoi clienti:

- S7;
- Modbus TCP/IP;
- OPC UA;
- MTConnect;
- MQTT.

Ogni protocollo definisce specifiche proprie di comunicazione, portando con se una certa complessità. Dato il tempo limitato a disposizione durante lo stage ho circoscritto il dominio dell'applicazione per gestire una sola tipologia di protocollo: Modbus TCP/IP.

Le motivazioni sono state principalmente:

- Modbus TCP/IP è un protocollo comune tra i clienti SMI;
- È stato facile reperire PLC che facessero uso del protocollo per effettuare i test sul prodotto sviluppato;
- Era già disponibile un *driver* che implementasse il protocollo Modbus TCP/IP. Questo faceva parte dell'applicativo precedente e poteva essere riutilizzato nella nuova versione.

È stata posta particolare attenzione durante la realizzazione dell'architettura in modo che fosse possibile estendere in futuro le capacità dell'applicativo per gestire ulteriori protocolli.

2.4.1 MODBUS

Modbus è un protocollo di comunicazione seriale sviluppato inizialmente da *Modicon*. È stato concepito per operare con i PLC. È un protocollo del livello applicativo, che opera al settimo strato della scala OSI e permette una comunicazione *client-server* su differenti tipi di rete. Definisce un modo di accedere e controllare un dispositivo tramite un altro senza dipendere dalla rete fisica coinvolta nella comunicazione.

Il protocollo descrive la modalità con cui un dispositivo accede ad un altro, come l'informazione è ricevuta e come devono essere strutturate le risposte alle *query*. In caso di errore, il protocollo definisce un meccanismo per inviare il corretto comando a chi ha richiesto l'operazione.

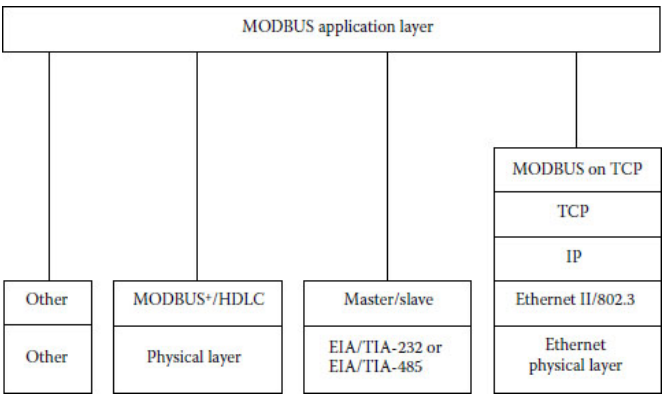


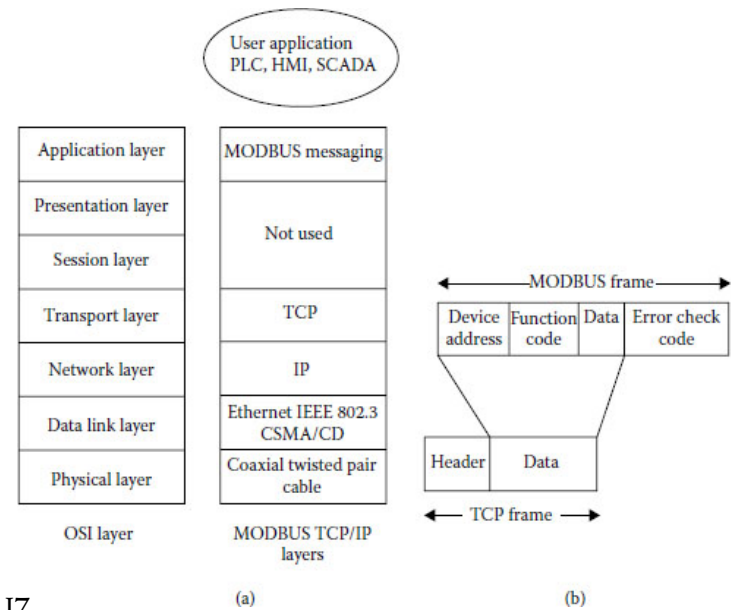
Figura 2.5: Stack di comunicazione di Modbus.[1]

La comunicazione può avvenire su diversi tipi di rete (ad esempio *Ethernet*) incorporando il protocollo Modbus in pacchetti dati nel protocollo che si intende utilizzare. Ci sono quindi diversi modi di implementare Modbus. Uno di questi è con *TCP/IP over Ethernet*.

2.4.2 MODBUS TCP/IP

La specifica Modbus TCP/IP è stata introdotta nel 1999. Ci sono dei vantaggi nell'utilizzare questo protocollo, tra cui la semplicità di utilizzo, l'uso di *Ethernet* e il fatto che sia una specifica aperta.

Modbus TCP/IP è un protocollo internet che consiste nel protocollo Modbus inserito in un contenitore TCP. In



17

(a) (b)

Figura 2.6: (a) layer di Modbus TCP/IP; (b) frame Modbus TCP/IP.[2]

pratica quindi i dispositivi Modbus possono comunicare su Modbus TCP/IP. L'unico vincolo è quello di un *gateway* che effettui le conversioni adatte per passare i dati dallo strato fisico a quello *Ethernet* e da Modbus a Modbus TCP/IP.

La figura 2.6 mostra gli strati del protocollo Modbus TCP/IP affianco allo standard OSI e il *frame* Modbus contenuto nel *frame* Modbus TCP/IP.

## 2.5 TECNOLOGIE E STRUMENTI IMPIEGATI

Saranno qui elencate e descritte le tecnologie e gli strumenti scelti per lo sviluppo del progetto e altri a supporto delle diverse attività. Saranno giustificate alcune scelte, come la limitazione nell'uso di librerie esterne.

Come accennato in 2.3, il lavoro da me svolto non è integrato in JMES ma è un modulo esterno che permette di ampliare le sue funzionalità. Questo mi ha permesso di avere un certo grado di libertà nella scelta degli strumenti di lavoro, prediligendo tecnologie già oggetto della mia curiosità per conoscerle più nel dettaglio.

I principali strumenti per lo sviluppo da me utilizzati sono stati i seguenti:

- IntelliJ IDEA. Un ambiente di sviluppo per Java prodotto da *JetBrains* che ha permesso, grazie anche a numerosi *plug-in*, di integrare in un solo ambiente lo sviluppo software, i test automatici, la *build* e il versionamento del codice;
- Gradle. Un sistema per l'automazione di *build* che prende spunto dai classici *Apache Maven* e *Apache Ant* che permette di specificare la configurazione del progetto con un linguaggio specifico basato su *Groovy*;
- Git. Sistema di versionamento distribuito utilizzato in questo progetto assieme a GitHub che ha fornito il servizio di *repository* remoto. Il suo uso è stato fondamentale in quanto sono state create, soprattutto nel primo periodo di sviluppo, diverse possibili soluzioni al problema. Git ha permesso di mantenere in parallelo ogni soluzione sviluppata, grazie all'uso di *branch*;
- GitHub ITS. *Issue tracking system* integrato in GitHub, ha permesso di tenere traccia dei cambiamenti durante il progetto. Le *issue* sono state inserite nella *kanban board* integrata in GitHub per avere ben visibile la situazione del progetto in ogni momento della progettazione e dello sviluppo;
- GitKraken. Interfaccia grafica per il sistema di versionamento git.

Per quanto riguarda invece gli strumenti e le tecnologie non prettamente legate allo sviluppo ma che hanno supportato alcune attività abbiamo:

- Wireshark: strumento per la cattura e l'analisi di pacchetti utilizzato per la comprensione della comunicazione con protocollo Modbus TCP/IP, di cui si è parlato in 2.4.2, tra PLC e computer;
- Modbus PLC simulator: programma di simulazione di PLC Modbus che supporta diversi protocolli, tra cui TCP/IP. È stato utilizzato per i test di scalabilità e di consumo risorse dell'applicazione realizzata;
- SoMachine Basic: gran parte dei test sono stati eseguiti con PLC fisici. Questo software ha permesso di visualizzare e modificare la configurazione interna dei PLC utilizzati;
- Ladder Diagram: linguaggio grafico per la programmazione di PLC. Utilizzato quando necessario per modificare il comportamento di un PLC durante i test.

Per la comunicazione interna al team JMES è stato utilizzato lo strumento di messaggistica Slack, mentre per la comunicazione più formale interna ed esterna all'azienda mi è stato fornito un account di posta elettronica.

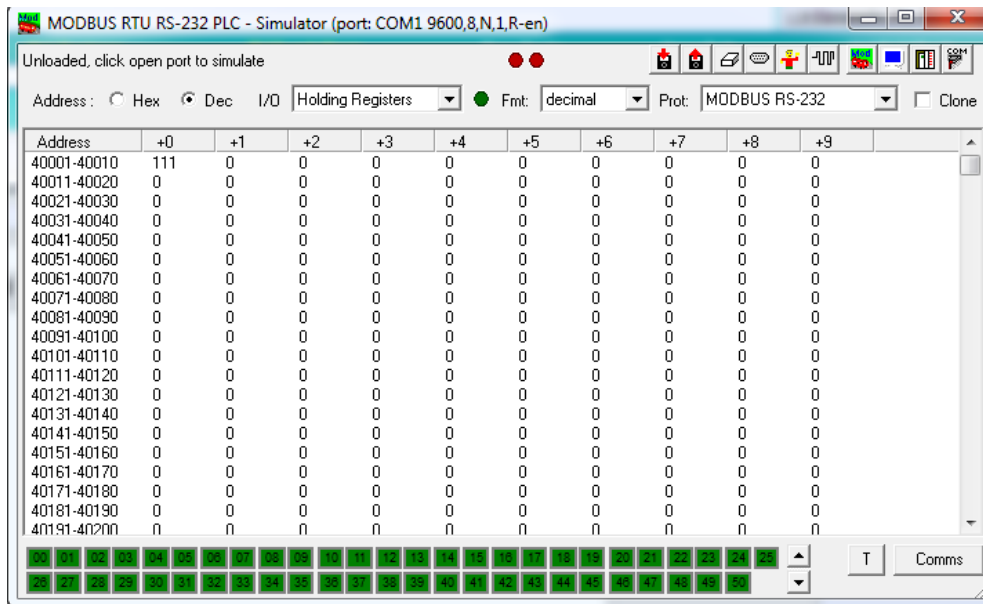


Figura 2.7: Vista del software Modbus PLC Simulator





# 3

## Le Problematiche

In questo capitolo si analizzerà brevemente la situazione che ha portato al primo sviluppo di JDI nel 2018, gli errori commessi durante la progettazione e la codifica, il sorgere dei primi problemi arrivati in produzione e i propositi per la nuova versione di JDI, oggetto della tesi.

### 3.1 LO SVILUPPO PRECEDENTE DI JDI

Dai bisogni sottolineati in 2.3 SMI ha deciso di iniziare lo sviluppo di un software (JDI) che fosse in grado di interfacciarsi con i PLC utilizzando i giusti protocolli di comunicazione. Lo sviluppo iniziò a maggio 2018 e venne assegnato alla BU JMES. Terminò circa sei mesi dopo.

Per sottolineare ulteriormente la separazione logica tra JMES e JDI è utile ricordare che JMES serve all'operatore per determinare come organizzare il proprio turno lavorativo. JDI invece mira ad aiutare l'operatore nelle operazioni manuali che possono facilmente portare a errori. Ad esempio la dichiarazione dei pezzi prodotti da un macchinario o la segnalazione dell'interruzione di funzionamento di una macchina e di tutte le operazioni *error-prone*. L'applicativo JDI non è provvisto di un'interfaccia grafica.

Lo sviluppo è stato eseguito da un solo programmatore a cui non erano stati posti vincoli precisi riguardo la progettazione dell'applicazione, se non l'utilizzo del linguaggio Java. Questo ha dato piena libertà sulla scelta delle tecnologie di sviluppo.

Architetturalmente JDI si presentava nel seguente modo: un software a servizi con compatibilità Windows. I servizi rappresentavano nodi che potevano essere *Router* o *Link*. Ogni nodo veniva avviato come servizio Windows. I *Link* erano servizi che utilizzavano un file di configurazione per effettuare la connessione con i PLC. Ognuno stabiliva una connessione con i PLC utilizzando il protocollo adatto (ricavato dal file di configurazione) e una connessione verso il nodo *Router* tramite *WebSocket*. Quest'ultima serviva a comunicare i risultati delle operazioni svolte dai nodi *Link* su i PLC. Nella figura 3.1 sono rappresentate queste connessioni.

Il nodo *Router* effettuava delle chiamate *http* verso JMES per comunicare le variazioni dei dati rilevati dai nodi *Link*. A quali dati fosse interessato JMES era specificato nei file di configurazione che ogni *Link* utilizzava per determinare le richieste da fare ai PLC.

Le richieste erano principalmente

- Lettura di registri *general purpose* su cui il PLC manteneva dati relativi al funzionamento della macchina a cui era collegato. Ad esempio il numero di pezzi prodotti fino a quel momento;
- Scrittura di registri *general purpose*, per resettare determinati stati, o per attivare/disattivare funzioni sulla macchina.

La soluzione sviluppata aveva un primo visibile vantaggio: la struttura a nodi poteva essere distribuita in punti fisici diversi. L'importante era che la comunicazione tra nodi *Link* e *Router* potesse avvenire. Questo era garantito dalla connessione *WebSocket* stabilita, che era indipendente dalla posizione dei nodi.

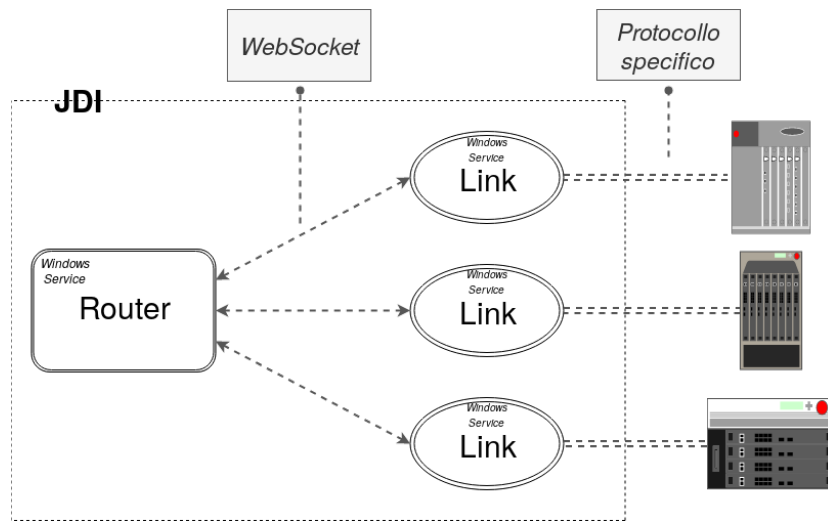


Figura 3.1: Architettura a nodi Router/Link della prima versione di JDI

### 3.1.1 I PROBLEMI EMERSI

La soluzione sviluppata presupponeva un utilizzo di JDI che facesse uso della possibilità di distribuire i suoi nodi su più punti. Nella realtà però gli *stakeholder* di JMES hanno constatato che le esigenze dei clienti non prevedevano lo sfruttamento di questa caratteristica. La soluzione sviluppata ha portato degli svantaggi che, come vedremo, avevano rilevanza e peso maggiori degli eventuali vantaggi commerciali.

A seguito dello sviluppo, sono iniziati i primi test del prodotto. Questi test dovevano verificare la stabilità del sistema e soprattutto la sua affidabilità nel lungo termine. Una volta installato in ambiente di produzione sarebbe infatti dovuto rimanere attivo per lunghi periodi, facilmente oltre l'anno.

I test realizzati prevedevano invece sessioni troppo brevi e con un numero di dati coinvolti nella trasmissione non realistico. Non è mai stata effettuata un'analisi dinamica sul consumo di risorse.

I primi problemi sono emersi in produzione, quando dopo pochi giorni di utilizzo il sistema presentava dei cali prestazionali e delle interruzioni impreviste.

A seguito di questi eventi avvenuti presso la sede di un cliente sono intervenuti i tecnici sistemisti di JMES che hanno tentato di effettuare il *debug* del codice sco-

prendo numerosi problemi legati all'utilizzo di librerie esterne che rendevano inoltre difficoltoso analizzare le zone del codice in cui si verificavano degli errori.

Le problematiche emerse hanno sottolineato carenze che si riassumono in:

- Basse prestazioni (velocità di trasmissione);
- Scarsa affidabilità (stabilità del sistema a lungo termine);
- Alto consumo di risorse;
- Bassa manutenibilità.

### 3.1.2 STUDIO DELLA PRIMA VERSIONE

Nonostante il primo sviluppo di JDI non avesse avuto un risultato positivo una volta messo in produzione, le funzionalità di base di questo dovevano essere presenti anche nella nuova versione.

Per raccogliere i requisiti del progetto è stato utile avere avuto un contatto diretto con lo sviluppatore che realizzò la prima versione di JDI. Mi è stato dato accesso al codice sorgente del progetto, che ho utilizzato principalmente per comprenderne il funzionamento interno. Questo mi ha permesso di:

- Ricavare informazioni sull'uso delle tecnologie utilizzate;
- Individuare componenti riutilizzabili.

Oltre a ciò sono avvenuti numerosi colloqui con persone chiave per raccogliere i vecchi e i nuovi requisiti del progetto di stage. Come visto nel capitolo precedente, i problemi stavano nella scarsa soddisfazione di requisiti non funzionali, e non nel soddisfacimento di quelli funzionali.

Lo studio e l'analisi della versione precedente hanno impegnato le prime due settimane di lavoro.

Il codice sorgente nelle sue componenti principali constava di:

- Otto progetti contenenti i *driver* per la comunicazione con i PLC. Ogni *driver* è l'implementazione di un protocollo;

- Librerie di base per JDI, contenenti definizioni di interfacce e classi astratte, strutture dati, ecc;
- Progetti per i nodi *Router* e *Link*.

Dall'analisi del codice sono emersi due principali attori che hanno caratterizzato lo stile del codice: ReactiveX e Jawampa.

## REACTIVEX

ReactiveX è una libreria per la programmazione asincrona e *event-based* in Java\* che estende il *pattern Observer*. Viene largamente utilizzata per lo sviluppo di applicazioni Android e in generale dove esiste una gestione delle interfacce utente. Aggiunge astrazione alla gestione a basso livello di *thread*, sincronizzazione e strutture dati concorrenti.

Problemi con la libreria ReactiveX: i vantaggi di questa libreria sono sentiti se si gestiscono eventi provenienti da interfacce grafiche (ad esempio la pressione di un pulsante) o se si fa uso di *Callback*. L'utilizzo rilevato nella prima versione di JDI non aveva a che fare con questi casi. Non è infatti prevista alcuna interfaccia grafica per JDI. Inoltre molte porzioni di codice sono risultate complicate dall'uso forzato della libreria. Un altro aspetto che non è stato considerato quando si è fatta la scelta di utilizzare tale libreria è che quasi mai chi scrive un software è poi colui che lo mantiene. Quando si sono verificati i primi problemi con JDI il codice non era facilmente interpretabile da chi non aveva mai scritto del codice ReactiveX.

## JAWAMPA

Come detto la comunicazione tra i nodi *Link* e *Router* avveniva tramite *WebSocket*. La libreria Jawampa è l'implementazione di *Web Application Messaging Protocol* (WAMP), un protocollo secondario di *WebSocket*. WAMP unifica in un protocollo due *pattern* per lo scambio di messaggi: *Remote Procedure Call* (RPC) e *Publish & Subscribe*. Per l'implementazione di questo sub-protocollo è stata utilizzata la libreria open-source Jawampa<sup>†</sup>.

---

\*Più informazioni su <http://reactivex.io/intro.html>

<sup>†</sup>Disponibile su <https://github.com/Matthias247/jawampa>

Problemi con la libreria: durante le riunioni effettuate con i responsabili e gli sviluppatori del team JMES è emerso che i problemi dovuti alle basse prestazioni nella comunicazione tra i nodi erano causati da questa implementazione di *WebSocket*. *Java*mpa è inoltre una libreria non più mantenuta. Una conferma di ciò si può trovare nella *repository pubblica* su GitHub.

### 3.2 IL NUOVO SVILUPPO

Data l'esperienza precedente, la nuova versione di JDI, oggetto di questa tesi, è stata sottoposta a vincoli più rigidi.

A differenza della versione precedente, che avviava un servizio Windows per ogni nodo, il programma doveva essere eseguibile su un *web server* Apache Tomcat, doveva limitare in consumo di risorse impiegate soprattutto dopo lunghi periodi di esecuzione e poter gestire un numero ragionevolmente alto di flussi di dati.

Inoltre visto lo scarso successo della versione distribuita di JDI, la nuova versione doveva sfruttare la concorrenza su singola JVM per adempiere ai compiti di gestione dei diversi flussi da e verso i PLC.

Un importante punto per JDI è che potesse essere facilmente manutenibile e che facesse uso il meno possibile di librerie esterne che hanno reso la manutenzione complicata per la prima versione.

Lo scopo in pratica era di raggruppare le funzionalità di base che la precedente versione offriva sotto forma di servizi Windows, in un ambiente *multi-threaded* e:

- Garantirne la scalabilità;
- Valutare quantitativamente le sue caratteristiche, attraverso lo svolgimento di *benchmark*;
- Rendere disponibile i dati ricavati con servizi *web*. Principalmente a JMES ma in generale a chi ne possa trarre vantaggio;
- Storicizzare i dati raccolti.

Gli ultimi due punti sono obiettivi più a lungo termine per JDI, che non rientrano nel dominio dello stage svolto.

### 3.2.1 I REQUISITI DEL PROGETTO

In questa sezione vengono raccolti i requisiti estrapolati dall'analisi della precedente versione e dagli incontri svolti con i responsabili del team JMES. Particolare attenzione sarà posta sui requisiti non funzionali. Come detto sono stati il punto debole della versione precedente.

I requisiti possono essere espressi con diversi livelli di dettaglio, a seconda della loro destinazione. Ian Sommerville nel testo *Software Engineering* suggerisce due definizioni per effettuare una distinzione nel livello di dettaglio:

- *User requirements* (requisiti utente): definizioni con linguaggio naturale e con eventuali diagrammi più formali di cosa il sistema debba essere in grado di fare, dal punto di vista dell'utente. Questo sottintende una definizione ad alto livello della funzionalità. Queste definizioni sono adatte ad un lettore delle specifiche non interessato ai dettagli tecnici del requisito;
- *System requirements* (requisiti di sistema): sono descrizioni più dettagliate delle funzionalità, dei vincoli e dei servizi del sistema. Definiscono nel dettaglio cosa deve essere sviluppato (non definiscono comunque il "come").

L'astrazione dai dettagli fornita dai requisiti utente è utile quando la documentazione delle specifiche è indirizzata a lettori non esperti. Nell'ambito di questo stage invece ho collaborato esclusivamente con sviluppatori e responsabili tecnici che non necessitavano di filtri nella descrizione delle specifiche. I requisiti raccolti di seguito saranno quindi da considerarsi *system requirements*.

I requisiti descritti nel resto della sezione sono raccolti in tre categorie:

- Requisiti funzionali: descrivono cosa il sistema dovrebbe fare, quali funzionalità ci si aspetta;
- Requisiti di qualità: pongono dei vincoli su "come" il prodotto deve soddisfare i requisiti funzionali. Prestazioni, sicurezza e altri requisiti non funzionali in generale;
- Requisiti di vincolo: definiscono limitazioni e vincoli nello sviluppo del prodotto. Linguaggi di sviluppo, librerie, versioni, compatibilità, ecc.

Per tenere traccia dei requisiti, per ognuno verrà usata la seguente codifica:

$$R[F \mid Q \mid V][\text{Codice}]$$

dove la prima opzione specificata indica un requisito rispettivamente funzionale, di qualità o di vincolo. La seconda opzione è un identificativo numerico intero crescente.

Codice requisito	Nome	Descrizione
RF <sub>1</sub>	Configurazione del sistema	<p>Il sistema deve ricavare le informazioni riguardanti la configurazione delle macchine ad esso collegate da un file JSON. Questo file conterrà le seguenti informazioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Indirizzo IP, porta e ID dei PLC con cui il sistema deve interagire;</li> <li>• Tipo di <i>driver</i> da utilizzare per la comunicazione con ogni PLC;</li> <li>• Per ogni PLC, le locazioni di memoria con cui interagire;</li> <li>• Come interpretare i dati presenti nelle locazioni di memoria (numero intero, numero reale, stringa ecc..);</li> <li>• Le modalità di accesso per ogni locazione di memoria: lettura e/o scrittura.</li> </ul>



RF <sub>2</sub>	Riconfigurazione	Le API del sistema devono presentare un comando per effettuare una riconfigurazione. Questa avverrà quando le impostazioni all'interno del file di configurazione cambieranno e si vorranno questi cambiamenti ripercossi nel sistema. Una riconfigurazione deve quindi poter essere effettuata senza riavviare l'applicazione
RF <sub>3</sub>	Operazioni di lettura	Il sistema deve essere in grado di eseguire operazioni di lettura verso i PLC collegati. La lettura può avvenire solo se l'area di memoria interessata ha i permessi appropriati, specificati nel file di configurazione. l'operazione deve avvenire a intervalli regolari. I tempi di lettura possono variare per ogni PLC collegato, questa informazione deve essere presente nel file di configurazione
RF <sub>4</sub>	Operazioni di scrittura	Il sistema deve essere in grado di eseguire operazioni di scrittura verso i PLC collegati. La scrittura può avvenire solo se l'area di memoria interessata ha i permessi appropriati, specificati nel file di configurazione. Non può quindi avvenire la scrittura di una locazione di memoria per cui non si dispongano i permessi nel file di configurazione

RF5	Richiesta scrittura		le API del prodotto devono permettere di richiedere la scrittura di un valore su una specifica area di memoria di uno specifico PLC. La richiesta deve rispettare i permessi definiti nel file di configurazione. Non può quindi avvenire la scrittura in una locazione di memoria per cui non si dispongano i permessi nel file di configurazione
RF6	Persistenza dei dati		Il sistema deve mantenere in memoria i valori aggiornati dei dati letti ad ogni ciclo di lettura. Ogni dato deve avere un identificativo univoco. I dati dovranno poter essere individuati come una coppia ID-ValoreLetto
RF7	Rilevazione funzionamento PLC	mal-	Per rilevare il malfunzionamento di un PLC il sistema deve gestire un particolare <i>bit</i> all'interno di ogni PLC con cui è collegato: prima di effettuare un'operazione di lettura, il sistema verifica che il <i>bit</i> si trovi al valore 1. In tal caso il sistema provvede a resettare tale <i>bit</i> a 0. In caso contrario invece il sistema segnala la situazione anomala. Questa funzionalità presuppone che il programma all'interno del PLC sia istruito per gestire questo <i>bit</i>
RF8	Stato PLC		Il sistema deve fornire a comando lo stato attuale dei PLC collegati. Deve quindi essere in grado di rilevare se accade una disconnessione, se il PLC è connesso o se è in corso una riconnessione

RF <sub>9</sub>	Ultima lettura	Il sistema deve poter fornire, per ogni macchina collegata, informazioni riguardanti l'ultima lettura avvenuta. Il formato di questa informazione deve essere l'orario dell'ultima lettura effettuata nel formato dd/mm/yyyy, mm:ss
RF <sub>10</sub>	Richieste multiple di scrittura	Se vengono richieste nel breve periodo multiple scritture, il sistema deve soddisfarle tutte (quando sono disponibili i giusti permessi) mantenendo l'ordine di arrivo delle richieste
RF <sub>11</sub>	Riconnessione	Nel caso in cui avvenga la disconnessione di un PLC, il sistema deve effettuare tentativi di riconnessione utilizzando un algoritmo che allunghi gli intervalli tra un tentativo e il successivo fino al raggiungimento di un minuto di attesa
RV <sub>12</sub>	Linguaggi	Il linguaggio per lo sviluppo del sistema JDI deve essere Java. Non sono posti vincoli sulla versione
RV <sub>13</sub>	Concorrenza	Deve essere utilizzato un approccio concorrente per realizzare il prodotto
RV <sub>14</sub>	Librerie	Le dipendenze del progetto devono limitarsi allo stretto necessario per portare a termine gli obiettivi fissati. L'introduzione di una libreria deve essere approvata da un responsabile
RV <sub>15</sub>	Compatibilità PLC	Il sistema deve poter funzionare con dispositivi <i>Schneider</i> che utilizzano il protocollo Modbus TCP/IP
RV <sub>16</sub>	Svolgimento test #1	Il sistema deve essere testato con almeno un dispositivo PLC <i>Schneider</i> M221

RV <sub>17</sub>	Svolgimento test #2	Per i test di scalabilità del sistema devono essere simulati dei dispositivi PLC con protocollo Modbus TCP/IP con l'uso del software <i>Modbus PLC Simulator</i>
RQ <sub>18</sub>	Reattività scrittura	Quando avviene una richiesta di scrittura, il sistema deve prendere in carico la gestione di questa nel più breve tempo possibile
RQ <sub>19</sub>	Scritture sicure	Se ci sono diverse richieste pendenti per un PLC e viene persa la connessione con questo, la coda di richieste deve essere eliminata. Nel periodo di disconnessione le richieste di scrittura per quel PLC devono essere rifiutate
RQ <sub>20</sub>	Consumo memoria	Il sistema deve occupare non più di 2GB di memoria in una situazione reale: 5 PLC collegati con diverse operazioni di lettura e scrittura che occorrono a intervalli di non più di due secondi

Tabella 3.1: Tabella requisiti

### 3.2.2 ANTICIPO SOLUZIONE

In seguito alla raccolta dei requisiti ho svolto due riunioni con il responsabile tecnico Alex Beggiato e parte dei membri del team JMES. Lo scopo degli incontri era delineare una possibile soluzione ai problemi evidenziati durante l'analisi della precedente versione.

I principali svantaggi introdotti dalla versione distribuita di JDI riguardavano scalabilità e stabilità del sistema. Per sopperire a queste mancanze la nuova versione è stata sottoposta a vincoli più stringenti.

La soluzione di seguito esposta intende dare un'idea generale di quanto è stato descritto in dettaglio nel capitolo 4.

La definizione contenente i dettagli dei PLC collegati al sistema doveva essere reperibile in un file in formato JSON. Era quindi necessario un componente all'interno dell'architettura che si occupasse di analizzare il file ed estrarre le informazioni necessarie ad avviare il sistema. Questo doveva costruire e rendere disponibile una configurazione contenente:

- I dettagli delle aree di memoria da leggere e da scrivere;
- Il tempo di aggiornamento delle letture dei PLC, chiamato tempo di *polling*;
- Il *driver* che implementa il protocollo Modbus TCP/IP per effettuare le operazioni di connessione, disconnessione, lettura, scrittura.

Grazie a questi elementi sarebbe stato possibile stabilire una connessione con i PLC per effettuare il reperimento e l'elaborazione dei dati provenienti dai PLC.

Il punto di partenza è stato fornire ogni PLC di un *thread*. Questo doveva occuparsi dell'interazione con la macchina effettuando le operazioni di base: lettura ad intervalli regolari delle aree di memoria specificate nel file di configurazione e scrittura di valori su richiesta. Da un approfondimento successivo è emersa la possibilità di limitare ancor di più la responsabilità dei singoli *thread*, suddividendo lettura e scrittura ottenendo infine due *thread* per ogni PLC.

## 3.2.3 ORGANIZZAZIONE TEMPORALE

- 10 giugno - 24 giugno: per lo sviluppo della nuova versione ho dedicato circa due settimane all'attività di analisi della precedente versione di JDI. Ho incontrato le persone coinvolte nel progetto per discutere requisiti e richieste relative al sistema da sviluppare. Ho configurato un ambiente su PC per poter prendere visione e familiarizzare con l'infrastruttura esistente. È seguita l'attività di analisi che mi ha portato ad individuare le componenti potenzialmente riutilizzabili del sistema, i pregi e i difetti dell'architettura distribuita precedentemente realizzata;
- 25 giugno-28 giugno: nella prosecuzione della settimana si sono susseguite riunioni per definire i requisiti, raccolti nella tabella 3.1;
- 1 luglio - 9 luglio: prima di procedere con la progettazione del nuovo sistema è stato necessario realizzare un *proof of concept* su cui eseguire dei *benchmark* per valutare le prestazioni di alcune possibili soluzioni frutto di attività di *brainstorming* con alcuni sviluppatori del team JMES e il responsabile tecnico del prodotto;
- 10 luglio - 12 luglio: terminate le attività di *benchmarking* su PoC ho proseguito con l'attività di progettazione che ha portato alla produzione di un'organizzazione di base dell'architettura del prototipo;
- 15 luglio - 7 agosto: in seguito alla progettazione ho iniziato l'attività di codifica lavorando incrementalmente sui requisiti del progetto. Ogni requisito è stato approvato dal responsabile in seguito ad attività di dimostrazione e *testing*.

# 4

## Progettazione, Codifica e Test

Prima di arrivare al prototipo finale ho realizzato un *proof of concept* sul quale ho eseguito dei test per valutare le prestazioni che il futuro prototipo avrebbe avuto. Questo ha aiutato a fissare alcuni dei requisiti già raccolti durante l'analisi dell'applicativo precedente e ricavarne di nuovi. In seguito ho proceduto nella progettazione e realizzazione del prototipo definitivo.

### 4.1 REALIZZAZIONE PROOF OF CONCEPT

Il PoC doveva dimostrare che fosse possibile realizzare una versione puramente concorrente del vecchio applicativo JDI. È stato realizzato in due iterazioni:

- Prima iterazione: si doveva simulare il collegamento a diversi PLC. Ogni connessione simulata otteneva un proprio *thread*. Questi effettuavano un ciclo di lettura ad intervalli specificati. La lettura era simulata con dei valori generati casualmente, i valori venivano gestiti in maniera appropriata secondo il requisito RF6;
- Seconda iterazione: veniva effettivamente gestito il collegamento a dei veri PLC. Su questi venivano effettuate le stesse operazioni di lettura della prima iterazione, i valori erano ora realmente prodotti dal PLC.

## 4.1.1 PRIMA ITERAZIONE

Prima di descrivere il processo per lo sviluppo della prima iterazione del PoC è necessario fare dei chiarimenti su alcuni termini utilizzati in seguito:

- *Driver*: implementazione di un protocollo. Viene utilizzato per effettuare operazioni sul PLC (ad esempio connessione, letture, scritture). Nella prima iterazione il *driver* non implementa alcun protocollo ma simula l'operazione di lettura, generando valori casuali;
- *Engine* (o *DriverEngine*): *thread* che utilizza un *driver* per effettuare cicli di lettura su PLC a intervalli regolari;
- *Tag*: rappresentazione di un'area di memoria letta dal PLC. In essa sono contenute le informazioni relative all'area di memoria rappresentata (vale a dire indirizzo in memoria, il tipo del dato, permessi di accesso in lettura/scrittura) e il valore che essa assume;
- *Store* (o *TagStore*): oggetto che raccoglie e aggiorna i valori delle *Tag*;
- Tempo di *polling* (o *PollingTime*): intervallo tra un ciclo di lettura e il successivo, indicato in millisecondi.

Per ogni PLC che si intende simulare viene creato un *Engine* a cui viene fornito:

- La configurazione delle *Tag* che deve leggere;
- Il *Driver* per simulare le letture;
- Un tempo di *polling* per ripetere il ciclo di lettura ad intervalli regolari;
- L'oggetto *Store* a cui delega la gestione dei valori letti.

L'obiettivo principale di questa iterazione era trovare una struttura dati adatta a gestire i flussi di aggiornamento dei diversi *thread*. Nello schema in figura 4.1 si osserva come ho voluto realizzare il PoC:

La scelta della struttura dati che il *TagStore* utilizza per mantenere in memoria e aggiornare i valori ricavati dalle letture si è ridotta a due possibili soluzioni:

- I. Fornire ogni *Engine* di una *HashMap* e lasciare quindi che ogni *thread* gestisse i propri valori. Questo avrebbe evitato accessi concorrenti alle strutture dati, rendendo più difficoltosa il reperimento di una specifica *Tag*;



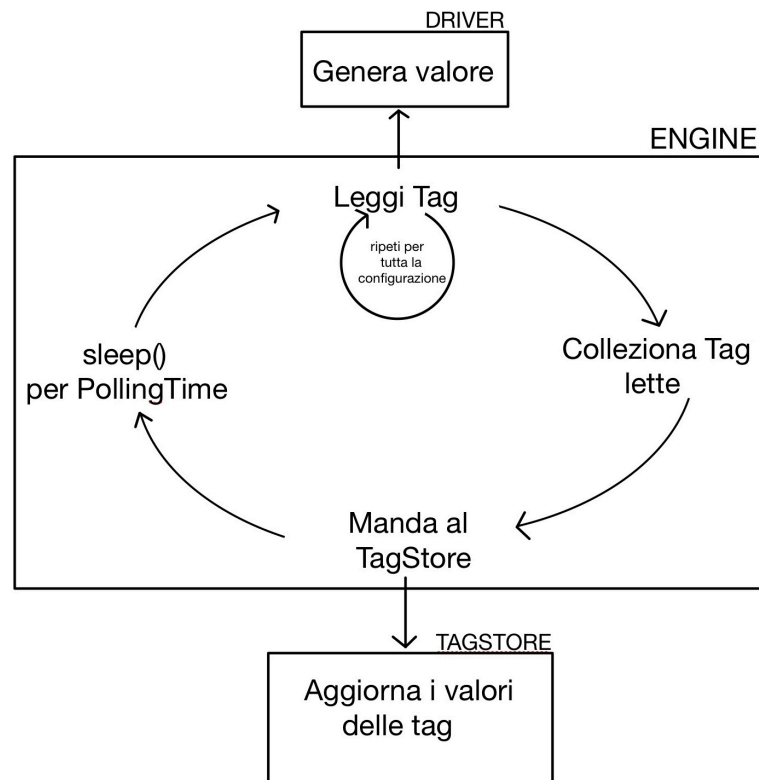
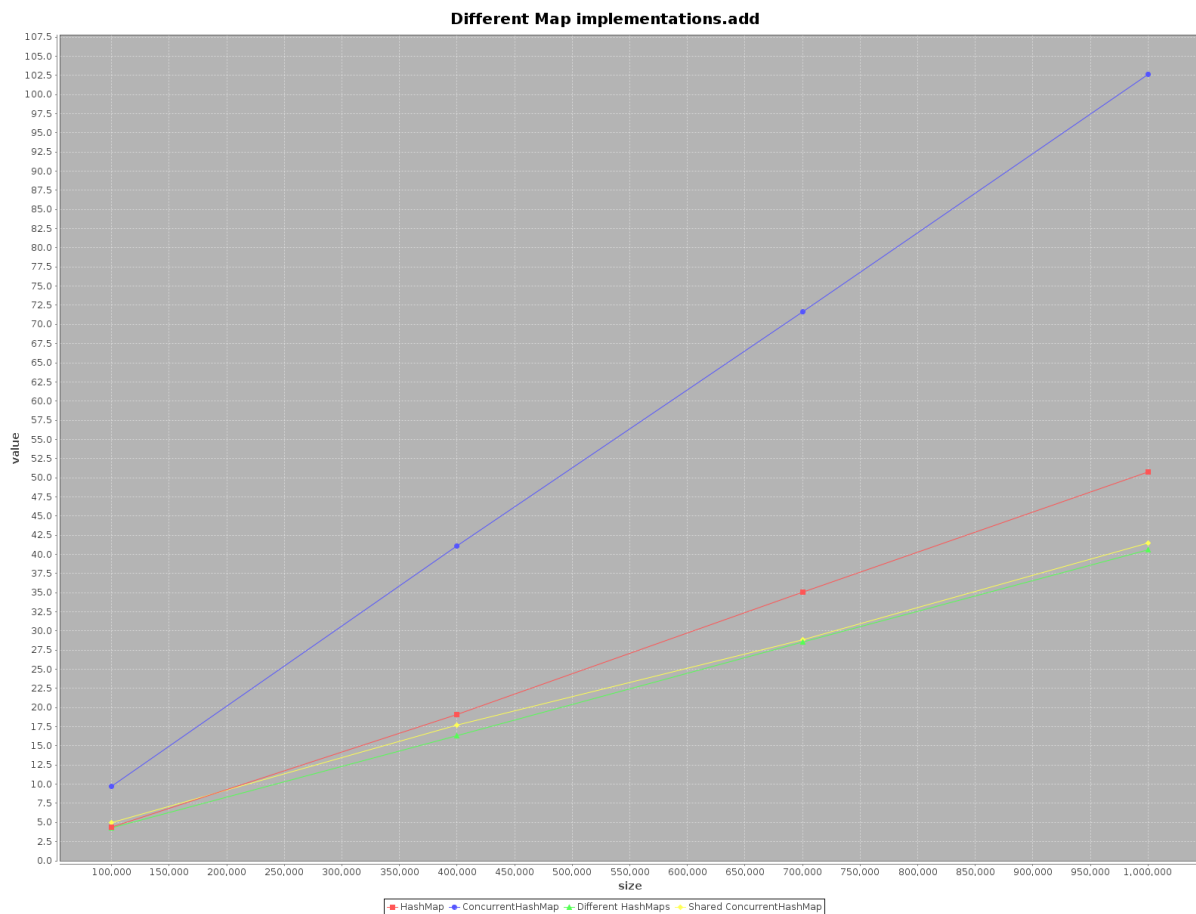


Figura 4.1: Schema logico prima iterazione PoC di JDI

2. Utilizzare una *ConcurrentHashMap*[8] condivisa da tutti gli *Engine*. Questo avrebbe introdotto concorrenza negli accessi alla mappa, centralizzando però tutte le *Tag* lette.

Michał Siatkowski\* ha realizzato dei test di performance[9] sulle due strutture dati prese in considerazione. In figura 4.2 è presente il grafico relativo alle prestazioni dell'operazione *add*. I dati interessanti per la scelta sono quelli delle due linee più in basso, ottenuti utilizzando un *thread* per *core*

\*<https://github.com/atais>



**Figura 4.2:** Test di performance per *ConcurrentHashMap*. Nelle ordinate il tempo impiegato per l'operazione, nelle ascisse il numero di elementi scritti nelle mappe.[9]

Nelle sue conclusioni ha evidenziato:

*When operating on *ConcurrentHashMap* with many threads it is similarly effective to operating on separate *HashMaps* for each thread. So there is no need to partition your data in different structures.*

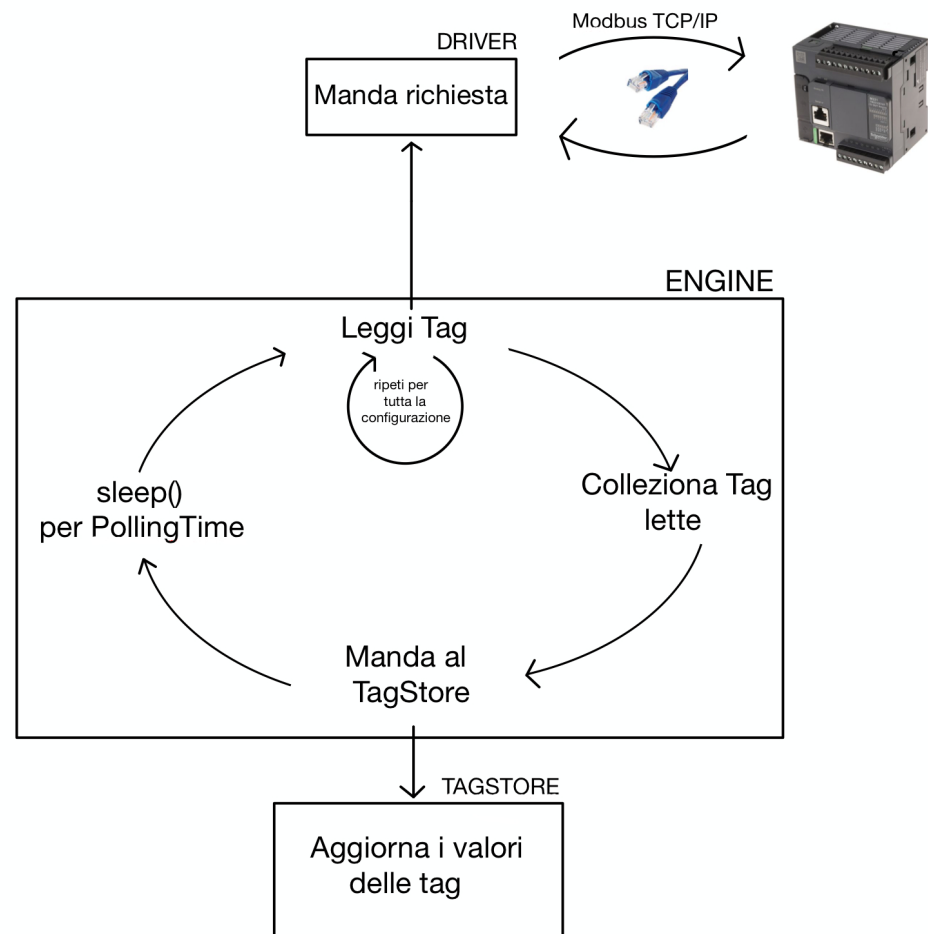
Rendendo quindi non necessario in caso di *multithreading* distribuire informazione su multiple strutture dati.

La scelta è quindi ricaduta sull'utilizzo di una *ConcurrentHashMap* condivisa dai diversi *thread*. Un ulteriore test di performance è stato realizzato e descritto in 4.2

#### 4.1.2 SECONDA ITERAZIONE

Un altro scoglio iniziale era certamente rappresentato dall'interazione tra il software JDI e i PLC. Dovevo infatti dimostrare di poter utilizzare il protocollo Modbus TCP/IP per effettuare le operazioni di lettura. La seconda iterazione del PoC prevedeva di realizzare un *driver* per il collegamento ai PLC.

In figura 4.3 lo schema per la realizzazione della seconda iterazione.



**Figura 4.3:** Schema logico seconda iterazione PoC di JDI

Grazie all'analisi svolta in primo luogo sulla vecchia struttura di JDI è stato possibile individuare i componenti riutilizzabili nella nuova versione da me sviluppata. Il componente più importante è stato il *driver*, che conteneva l'implementazione del protocollo Modbus TCP/IP. Questo presentava una comoda interfaccia effettuare

le tipiche operazioni su PLC: connessione, disconnessione, lettura e scrittura.

La realizzazione ex novo di un *driver* avrebbe richiesto lo studio a basso livello del protocollo Modbus e Modbus TCP/IP. Il riuso in questo caso si è rivelata una scelta appropriata.

Inserire nel progetto questo componente ha avuto però dei lati negativi:

- Una parte del codice del *driver* serviva a svolgere compiti che, ai fini dello stage, non sono risultati utili;
- Assieme al *driver* ho dovuto importare nel progetto le sue dipendenze. Prevalentemente librerie sviluppate da SMI;
- Sono stato vincolato all'uso di alcune classi per mantenere una compatibilità; principalmente quelle relative ai tipi dei dati letti e scritti. Come specificato nei requisiti infatti, alla lettura di una certa area di memoria consegue l'interpretazione del dato con uno specifico tipo.

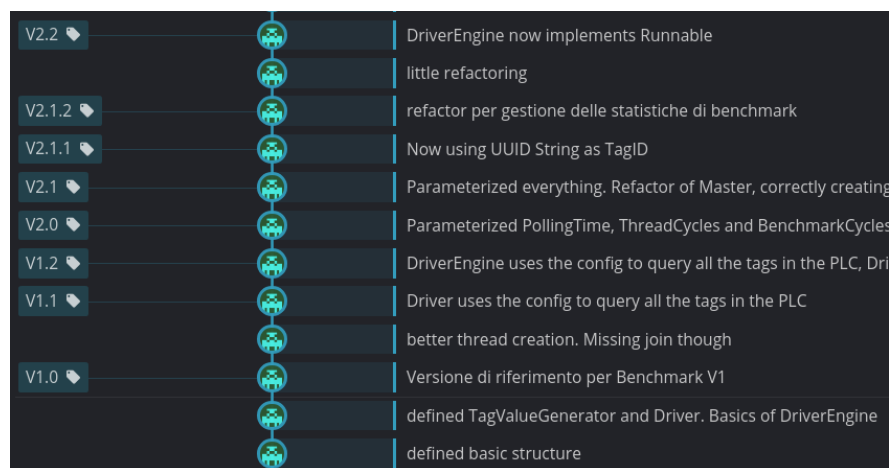
Queste conseguenze sono state comunque largamente colmate dalle decine di ore di lavoro risparmiate per la creazione di un *driver* per il protocollo Modbus TCP/IP.

## 4.2 BENCHMARK

Come visto nella sezione precedente, per scegliere la struttura dati per la gestione dei valori letti mi sono affidato ai test eseguiti da Michał Siatkowski che confrontavano le prestazioni di *HashMap* e *ConcurrentHashMap* in diverse situazioni.

Per fondare la scelta su basi ancora più solide ho sviluppato un ulteriore *benchmark* per estrarre dei dati relativi all'accesso concorrente di più *thread* alla *ConcurrentHashMap* condivisa dai diversi *Engine*. Il test utilizza la logica del PoC realizzato alla prima iterazione. Lo schema di riferimento è quindi quella rappresentata in figura 4.1.

Avendo realizzato diverse versioni di *benchmark* è risultato utile utilizzare il versionamento di *git* per fermare nel tempo le diverse versioni sviluppate, utilizzando il sistema di *tagging*<sup>†</sup>. In figura 4.4 è presente una vista del software GitKraken che mostra come ogni versione di *benchmark* abbia una *tag* di *git* associata.



**Figura 4.4:** Interfaccia di GitKraken che mostra come ho tenuto traccia dei diversi *benchmark* effettuati

Il test aveva come scopo quello di simulare la presenza di molteplici PLC che fornivano dati al sistema JDI e valutare quantitativamente la risposta dell'applicativo alle centinaia di dati da gestire concorrentemente. Di seguito viene descritto il test: la simulazione prevede un numero variabile di *thread Engine* che accedono concorrentemente alla mappa, contenuta all'interno di un *TagStore* condiviso, per aggiornare i valori delle *Tag* generati casualmente dal *Driver*.

Ogni *Engine* ha nella propria configurazione 150 *Tag*, corrispondenti quindi a 150

<sup>†</sup>Più informazioni su <https://git-scm.com/book/en/v2/Git-Basics-Tagging>

valori generati dal *Driver*.

Vengono eseguiti dieci cicli di aggiornamento alla fine dei quali sono rilevati i tempi di esecuzione.

Questo *benchmark* è eseguito cinque volte e viene infine calcolata la media dei tempi di esecuzione rilevati. Il numero di *thread Engine* varia da 10 a 1000.

L'obiettivo da raggiungere era una crescita lineare dei tempi di esecuzione fino ai 100 *thread* (simulazione di 100 PLC).

La tabella 4.1 mostra i tempi di esecuzione in relazione al numero di *thread*. Il grafico in figura 4.5 aiuta a visualizzare i risultati.

Thread	Tempo di esecuzione medio (ms)
10	4835
20	4969
30	5848
40	5033
50	5086
60	5123
70	5143
80	5098
90	5181
100	5236
200	6805
400	12612
800	24126
1000	29896

**Tabella 4.1:** Risultati benchmark per la scelta della struttura dati

I risultati ottenuti dal *benchmark* hanno superato le aspettative. I tempi di esecuzione rimangono pressoché stabili fino a 100 *thread Engine*. L'obiettivo posto inizialmente sulle prestazioni attese è quindi stato soddisfatto.

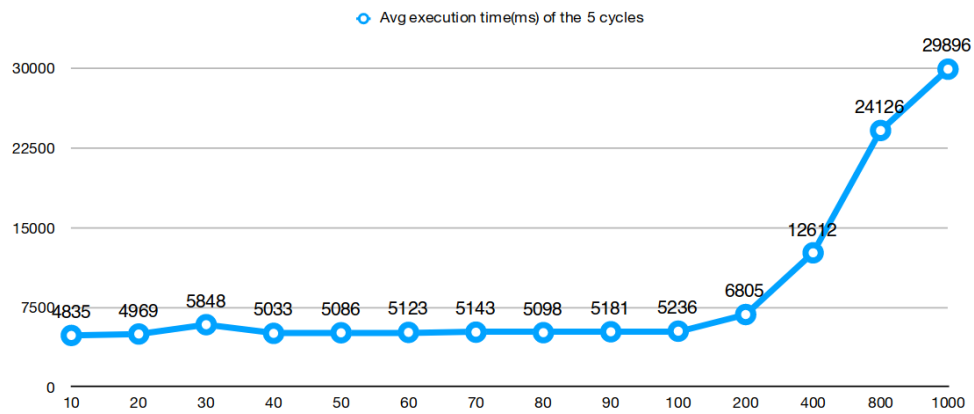


Figura 4.5: Grafico scalabilità concorrenza di *ConcurrentHashMap*

## 4.3 PROGETTAZIONE PROTOTIPO

Per comodità riporto i termini già definiti in 4.1.1 aggiornati per adattarsi al glossario del prototipo:

- *Driver*: implementazione di un protocollo. Viene utilizzato per effettuare operazioni sul PLC (connessione, disconnessione, letture, scritture). Il protocollo implementato dai *driver*, quando non specificato, è Modbus TCP/IP;
- *TagPoller*: componente che utilizza il *driver* per effettuare cicli di lettura su PLC a intervalli regolari. Un *TagPoller* detiene la configurazione del PLC associato per conoscere le aree di memoria da leggere;
- *TagUpdater*: componente che utilizza il *driver* per effettuare la scrittura su PLC quando richiesto;
- *TagConfiguration*: rappresentazione dell'area di memoria di un PLC. In essa sono contenute le informazioni relative all'area di memoria rappresentata: indirizzo in memoria, tipo del dato, permessi di accesso in lettura/scrittura;
- *Tag*: insieme di *TagConfiguration* e il valore che essa assume (se si tratta di un valore letto) o che deve assumere (se si tratta di un valore da scrivere);
- *Configurator*: componente che estrae dal file di configurazione in formato JSON le informazioni necessarie a creare ed avviare i componenti necessari al corretto funzionamento del sistema;
- *PollingTagRepository*: componente che raccoglie e mantiene aggiornati i valori delle *Tag* lette. Viene utilizzato dai *TagPoller* per delegare la gestione dei dati letti;
- *TagUpdaterRepository*: componente che gestisce le richieste di scrittura di una specifica *Tag*. Fornisce ad ogni *TagUpdater* i dati necessari per effettuare le scritture;
- Tempo di *polling* (o *PollingTime*): intervallo tra un ciclo di lettura e il successivo, indicato in millisecondi.

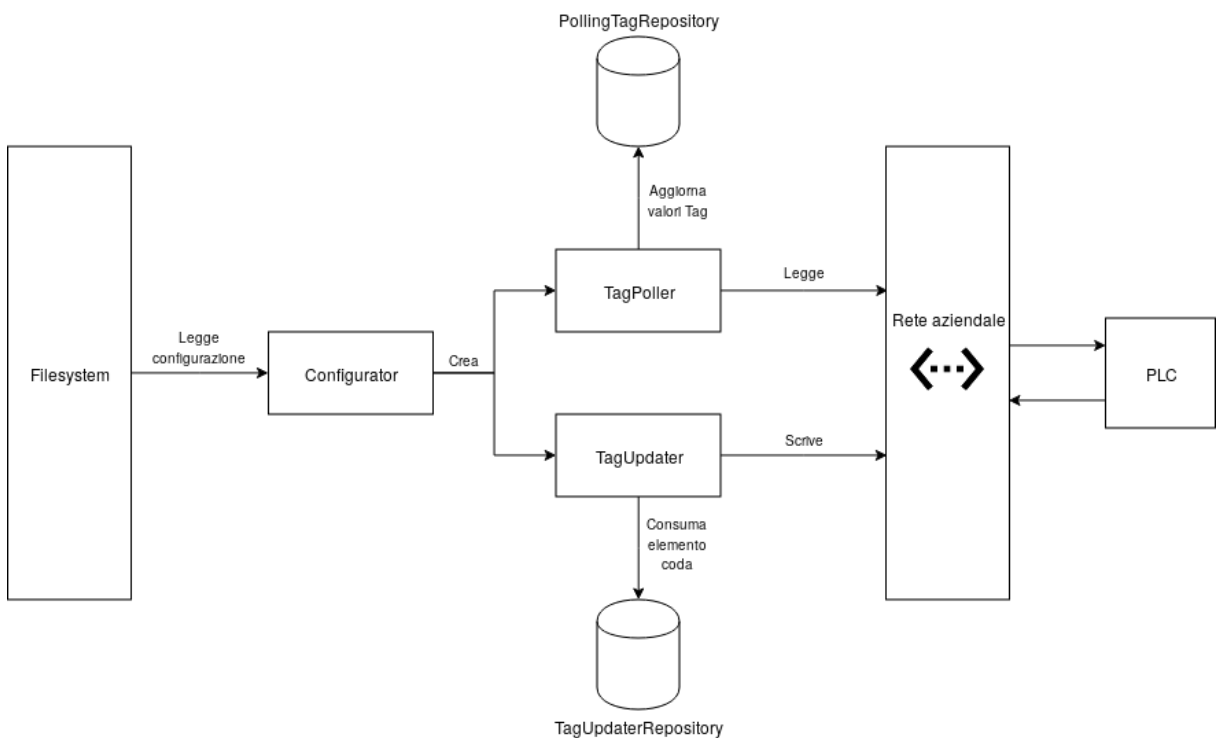


L'architettura ottenuta dal prototipo doveva rappresentare una solida base per permettere al team JMES di realizzare, in seguito al mio stage, un sostituto completo per la versione precedente di JDI.

Per ottenere un'architettura solida e manutenibile ho scelto di gestire separatamente le operazioni di lettura e scrittura. Nella soluzione sviluppata, per ogni PLC saranno utilizzati due componenti: *TagPoller* e *TagUpdater*.

- Il primo si occupa di effettuare la lettura (grazie al proprio *driver*) di tutte le aree di memoria definite nel file di configurazione (queste sono le *Tag*). Questa operazione avviene ad intervalli regolari definiti anch'essi nella configurazione. L'intervallo è il tempo di *polling*;
- Il secondo si affida al componente *TagUpdaterRepository* per consumare la coda di richieste di scrittura che sono a lui indirizzate.

I componenti già in parte descritti nel glossario a inizio sezione e le loro interazioni sono rappresentati nell'architettura in seguito riportata.



**Figura 4.6:** Schema architettura JDI

Nel seguito, seguendo un approccio *top-down*, verranno analizzate le componenti principali dell'architettura presentata.

#### 4.3.1 FILE DI CONFIGURAZIONE

Verrà qui descritto il formato del file di configurazione utilizzato per definire con quali PLC JDI debba effettuare il collegamento e per ognuno vengono specificate le aree di memoria interessate dalle operazioni di lettura e scrittura.

Il livello più alto è il PLC. Per questo vengono definiti:

- Impostazioni generali della macchina: Indirizzo IP, porta, identificativo univoco macchina e tempo di *polling*;
- Elenco delle *Tag*. Per ognuna viene fornito: tipo del dato, indirizzo in memoria, permessi di lettura/scrittura. Per ogni PLC possono essere definite molteplici *Tag*. Queste vengono identificate dalla stringa nome-macchina.nome-tag.

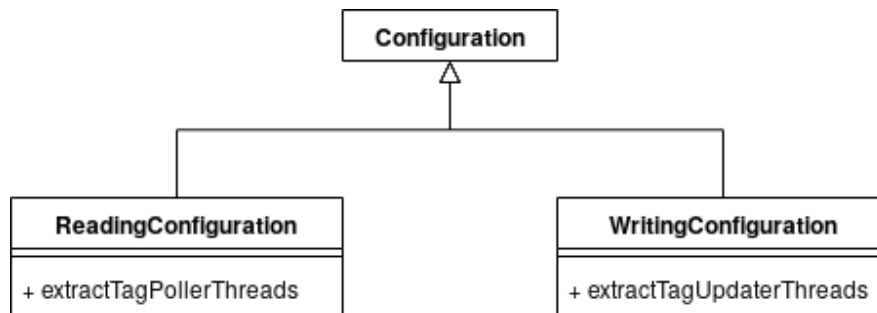
In un file di configurazione possono essere presenti diverse definizioni di PLC, identificate univocamente dal nome.

Nel listato in 4.1 un esempio di file di configurazione con un solo PLC definito. Le due aree di memoria definite sono identificabili dalle stringhe *plc-taglio-laser.counter* e *plc-taglio-laser.watchdog*.

```
1 {  
2   "machines": {  
3     "plc-taglio-laser": {  
4       "settings": {  
5         "PollingTime": "1000",  
6         "Address": "10.200.200.80",  
7         "Port": "502",  
8         "unitId": "100"  
9       },  
10      "tags": {  
11        "counter": {  
12          "type": "it.smi.types.Int32",  
13          "address": "40017",  
14          "canRead": true,  
15          "canWrite": false  
16        },  
17        "watchdog": {  
18          "type": "it.smi.types.Int16",  
19          "address": "40020",  
20          "canRead": true,  
21          "canWrite": true  
22        }  
23      }  
24    }  
25  }  
26 }
```

**Listing 4.1:** Esempio di una configurazione in formato JSON. È presente una sola macchina denominata "plc-fisico". Per questa sono definite due aree di memoria con diversi permessi.

## 4.3.2 ANALISI DEL FILE DI CONFIGURAZIONE

Figura 4.7: Diagramma delle classi del componente *Configurator*

Il componente *Configurator* racchiude le classi che effettuano le operazioni di creazione dei *thread* per la lettura e per la scrittura, rappresentati rispettivamente in *TagPoller* e *TagUpdater*. Utilizzano la libreria *Jackson*<sup>‡</sup> per processare il file JSON di configurazione.

La classe base *Configuration* effettua le operazioni di basso livello con la configurazione caricata da *file system* per ottenere, per ogni PLC specificato, il *driver* adatto. Ricava poi le *TagConfiguration* per ogni area di memoria interessata da lettura e scrittura.

*ReadingConfiguration* grazie al lavoro svolto dalla classe padre *Configuration* estrae i *thread* per la lettura fornendo loro la lista di *TagConfiguration* con i permessi di lettura.

*WritingConfiguration* fornisce lo stesso servizio ma ricavando le configurazioni sulla base dei permessi di scrittura.

```

1 //ReadingConfiguration
2 private List<TagConfiguration> filterReadableConfigurations(
3     List<TagConfiguration> tagConfigurations) {
4     return tagConfigurations.stream()
5         .filter(TagConfiguration::canRead)
6         .collect(
7             Collectors.toCollection(ArrayList::new)
8         );
9 }
  
```

Listing 4.2: Le configurazioni delle tag da leggere per un dato PLC vengono filtrate usando gli Stream Java

<sup>‡</sup>Ulteriori informazioni disponibili su <https://github.com/FasterXML/jackson>

## 4.3.3 LETTURA

*TagPoller* è una classe che estende l'interfaccia *Runnable*. Effettua la lettura di tutte le *Tag* di uno specifico PLC definite nella configurazione. Questa operazione avviene ad intervalli regolari detti cicli di *polling*.

Rappresenta il *task* che il *thread* di lettura svolge.

Come detto, ad ogni PLC definito nella configurazione corrispondono un *thread* di lettura e uno di scrittura. Saranno istanziati quindi  $n$  *TagPoller*, con  $n$  il numero di PLC nella configurazione.

Il funzionamento di *TagPoller* è semplice: ad ogni ciclo utilizza la propria istanza di *driver* per richiedere al PLC i valori di tutte le *Tag* specificate nella configurazione di *TagPoller*. Questa configurazione viene fornita da *ReadingConfiguration* alla creazione del *thread*. I nuovi valori delle *Tag* vengono inviati alla *repository* condivisa tra i *thread* di lettura che si occupa di aggiornare i valori precedentemente letti.

Nel metodo *run* della classe *TagPoller* nel listato in 4.4 viene descritto ad alto livello il comportamento del *thread* di lettura. Vengono effettuate le letture verso il PLC di tutte le *Tag* etichettate come "da leggere". Il *thread* che sta svolgendo il *task* viene mandato in *sleep()* per il tempo di *polling* specificato all'interno della configurazione. Si tratta di un'esecuzione che termina solo quando il *thread* corrente viene interrotto in caso di errore.

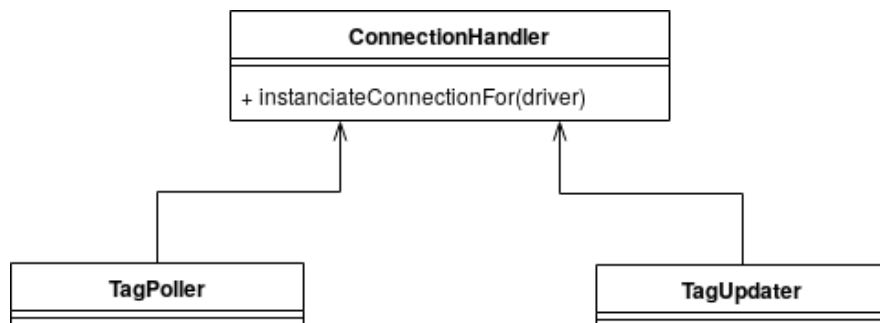


Figura 4.8: Diagramma delle classi del componente che contiene *TagPoller* e *TagUpdater*

## 4.3.4 SCRITTURA

*TagUpdater* è una classe che estende l'interfaccia *Runnable*. Si occupa di portare a termine le richieste di scrittura accumulate in *TagUpdaterRepository*. Rappresenta il *task* che il *thread* di scrittura svolge.

Anche in questo caso per ogni PLC presente nella configurazione viene istanziato un *thread* di scrittura.

Un requisito fondamentale che *TagUpdater* soddisfa è la reattività alle richieste di scrittura. È importante infatti che le richieste inserite nella coda dedicate a ciascun *thread*, contenute in *TagUpdaterRepository*, vengano elaborate nel più breve tempo possibile.

Per questo il ciclo del *task* di scrittura consiste in una continua richiesta per l'ottenimento di una *Tag* da scrivere. Il metodo *run()* del *task* è visibile nel listato in 4.3.

Per rendere efficiente la gestione delle richieste, tra *TagUpdater* e *TagUpdaterRepository* avviene una sincronizzazione sulla coda prendendo spunto dal classico problema del produttore-consumatore[10]. Questo meccanismo verrà approfondito in 4.3.6, dopo aver descritto la gestione delle richieste di scrittura.

```
1 //TagUpdater
2 @Override
3 public void run() {
4     ConnectionHandler.instantiateConnectionFor(driver, LOG_NAME);
5     while (!Thread.interrupted()) {
6         retrieveAndWriteTag();
7     }
8     Logger.log(LOG_NAME + " Thread interrupted");
9     ConnectionHandler.interruptConnectionFor(driver);
10 }
```

**Listing 4.3:** Metodo *run()* della classe *TagUpdater*

```
1 //TagPoller
2 @Override
3 public void run() {
4     ConnectionHandler.instantiateConnectionFor(driver, LOG_NAME,
5         MACHINE_NAME);
6     try {
7         while (!Thread.interrupted()) {
8             readTags();
9             Thread.sleep(POLLING_TIME);
10        }
11    } catch (InterruptedException e) {
12        Logger.log(LOG_NAME + " Thread interrupted");
13    } finally {
14        ConnectionHandler.interruptConnectionFor(driver,
15            MACHINE_NAME);
16        MachineStatusesRepositorycommunicateStatusChange(
17            MACHINE_NAME, MachineStatusesRepository.Status.
18            DISCONNECTED);
19    }
20 }
```

Listing 4.4: Metodo run() della classe TagPoller

## 4.3.5 GESTIONE VALORI LETTI

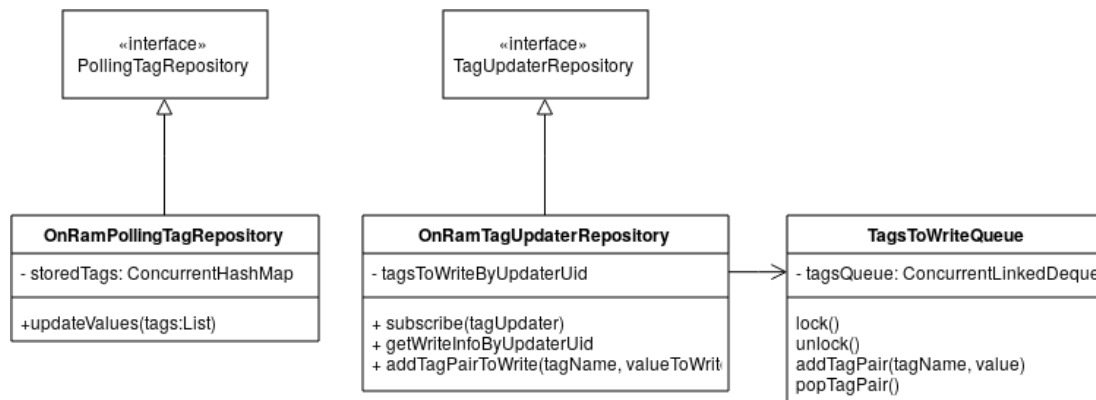


Figura 4.9: Diagramma delle classi principali del componente contenente le *repository*

I dati letti dai PLC devono essere mantenuti in memoria e aggiornati. Ogni *thread TagPoller*, una volta terminato il proprio ciclo di lettura, invia le *Tag* accumulate alla istanza comune di *OnRamPollingTagRepository*. Questo componente utilizza la *ConcurrentHashMap* scelta durante lo sviluppo del PoC.

Le *Tag* ricevute dai *thread* sono elaborate singolarmente. I valori precedentemente salvati nella mappa vengono aggiornati, se non era disponibile nessun valore allora la *Tag* viene inserita per la prima volta.

## 4.3.6 GESTIONE RICHIESTE DI SCRITTURA

Per gestire in maniera efficiente le richieste di scrittura è fondamentale che ad ogni *thread TagUpdater* venga associata una coda di richieste. Per poter avere una propria coda, ogni *thread* chiama il metodo *subscribe* della *repository* e questa provvede ad inizializzare una coda vuota.

Per inserire una nuova richiesta, l'interfaccia della *repository* espone il metodo *addTagPairToWrite* che si occupa di inserire la richiesta nella coda corretta.

Il meccanismo realizzato per consumare le richieste con attenzione ai tempi di reazione del *thread* di scrittura è il seguente: il *thread* di scrittura richiede al proprio oggetto *OnRamTagUpdaterRepository* una *Tag* che è in attesa di essere scritta. Il *thread* svuota la coda di richieste portando a termine la scrittura. Se non ci sono richieste pendenti il *thread* di scrittura viene messo in stato di *wait*. Appena la *repository* riceve una nuova richiesta di scrittura il *thread* viene notificato. Questo riprenderà la sua esecuzione consumando la nuova richiesta.



Questo meccanismo è stato semplificato dalla creazione della classe *TagsToWriteQueue* che ingloba un *ConcurrentLinkedDeque* utilizzato per gestire le richieste per ogni *thread* di scrittura. Di seguito i metodi di *TagsToWriteQueue* che utilizzano *wait()* e *notify()* per rispettivamente fermare e riattivare il consumo delle richieste.

```
1 //TagsToWriteQueue
2 synchronized void addTagPair(String tagNameToInsert,
3                               AbstractValue newValue) {
4     tagsQueue.add(new Pair<>(tagNameToInsert, newValue));
5     notify();
6 }
7 synchronized Pair<String, AbstractValue> popTagPair() {
8     if (tagsQueue.isEmpty()) {
9         try {
10             wait();
11         } catch (InterruptedException e) {
12             Logger.log(LOG_NAME + "Interrupted during wait");
13             Thread.currentThread().interrupt();
14         }
15     }
16     return tagsQueue.poll();
17 }
```

**Listing 4.5:** Metodi che implementano il problema produttore/consumatore per gestire le richieste di scrittura

## 4.4 VERIFICA E VALIDAZIONE

I processi di verifica e validazione si occupano di controllare che il software sviluppato rispetti i requisiti definiti da chi ha richiesto il software. Questi controlli iniziano appena sono disponibili i primi requisiti e continuano per tutta la durata del processo di sviluppo.

*Barry Boehm* espresse in breve la differenza tra verifica e validazione nel seguente modo:

- *Validation: Are we building the right product?*
- *Verification: Are we building the product right?*

L'obiettivo della verifica è controllare che il software soddisfi i requisiti funzionali e non funzionali definiti durante l'attività di analisi.

La validazione considera invece una panoramica più ampia: il suo scopo è di assicurarsi che il software soddisfi le aspettative del cliente. Tale passaggio risulta essenziale poiché non sempre i bisogni di chi ha richiesto il software sono perfettamente rispettati nell'analisi dei requisiti.

Per quanto riguarda la verifica, JDI è stato sottoposto ad analisi statica e dinamica

- **Analisi statica:** non richiede l'esecuzione del software che si sta mettendo alla prova. Può evidenziare numerosi problemi nel codice sorgente prima ancora di eseguire test di unità;
- **Analisi dinamica:** prevede l'esecuzione del codice. Verifica la presenza di difetti nel prodotto.

Gli strumenti utilizzati per effettuare l'analisi statica erano integrati nell'IDE IntelliJ. È stato configurato per rilevare probabili *bug*, aree del codice non raggiunte e problemi di *performance*. Sono inoltre state utilizzate le configurazioni di SMI per verificare le linee guida per l'indentazione e l'organizzazione del codice.

Per effettuare analisi dinamica invece sono stati implementati test di unità con il *framework* JUnit per rilevare la presenza di difetti nelle classi più delicate:

- *OnRamTagUpdaterRepository;*

- *TagsToWriteQueue*.

Per questi due moduli è stato utilizzato il *Test Driven Development* (TDD). Una pratica che prevede di scrivere codice solamente per far passare un test che fallisce. I passi seguiti per lo sviluppo dei moduli sono stati i seguenti:

1. Pensare ad un test per verificare una funzionalità del modulo;
2. Eseguire il test. Inizialmente questo fallirà;
3. Scrivere il codice per soddisfare il test scritto;
4. Verificare che il codice non abbia introdotto regressioni. I test scritti precedenti devono sempre essere soddisfatti;
5. Riorganizzare il codice scritto;
6. Ripetere i passi precedenti.

Per rispettare i vincoli sul consumo della memoria sono stati eseguiti test di *performance* che prevedevano l'esecuzione del sistema in condizioni di stress. I dati rilevati sono stati analizzati e approvati dal responsabile tecnico e tutor aziendale Alex Beggiato. I risultati si sono attestati al di sotto dei 2GB vincolati dall'analisi.

La validazione del sistema ha accertato che il software prodotto rispettasse i requisiti elaborati da SMI. Per valutare oggettivamente il prodotto sviluppato si sono svolte numerose riunioni in presenza del tutor Alex Beggiato e dei membri del team di sviluppo JMES. L'esito è stato estremamente positivo, avendo raggiunto tutti gli obiettivi posti a inizio stage e i requisiti raccolti durante l'attività di analisi.



# 5

## Retrospectiva

### 5.1 SODDISFAZIONE DEGLI OBIETTIVI

Al termine delle 344 ore svolte presso Sanmarco Informatica è stato possibile ricapitolare quanto svolto e determinare lo stato di completamento degli obiettivi posti ad inizio stage.

Sia gli obiettivi obbligatori che quelli desiderabili sono stati portati a termine. Nella tabella seguente si trova il riassunto di quanto svolto:

Obiettivo	Tipologia	Stato
Analisi dell'attuale infrastruttura e delle problematiche che hanno portato alla scelta di modificare l'architettura	Obbligatorio	Completato
Analisi omnicomprensiva della nuova architettura	Obbligatorio	Completato

Studio di fattibilità in termini "tecnologici" (ossia reperimento e/o sviluppo di componentistica necessaria alla realizzazione) e relativi <i>benchmark</i> di confronto	Obbligatorio	Completato
Sviluppo prototipo al fine di testare le soluzioni trovate e le performance effettive delle stesse (in termini di tempo di esecuzione, scalabilità e risorse impegnate)	Desiderabile	Completato

**Tabella 5.1:** Riassunto obiettivi obbligatori e desiderabili con stato di completamento

La suddivisione delle ore preventivate nel piano di lavoro redatto prima dell'inizio dello stage ha rispecchiato quasi tutti i punti previsti. Di seguito sono riassunte le ore impiegate per lo svolgimento delle attività.

- Formazione sulle tecnologie: 40 ore. Per questa attività è stato fondamentale il contatto con i membri del team JMES. Questi mi hanno aiutato nell'adattamento alle nuove tecnologie e nella comprensione del *framework* Scrum in cui ho lavorato;
- Analisi (vecchia e nuova struttura): 104 ore. Poter ricevere i consigli e le motivazioni di chi in prima persona aveva portato avanti lo sviluppo ha reso l'attività di analisi della struttura esistente più efficiente. Questo mi ha permesso di risparmiare alcune ore che ho dedicato alle attività successive;
- Realizzazione PoC: 56 ore. La realizzazione del PoC mi ha consentito non solo di creare una bozza concreta del progetto ma anche di affinare i requisiti raccolti. Con il supporto del tutor SMI molti di essi sono infatti stati rielaborati. I *benchmark* realizzati sul PoC hanno inoltre verificato che i vincoli posti durante l'analisi fossero raggiungibili;
- Realizzazione prototipo: 144 ore. Una volta fissati i requisiti è stato possibile organizzare l'architettura di JDI. Determinati i componenti principali sono passato alla codifica. Fondamentale è stato il *feedback* da parte del tutor per fissare man mano le diverse parti.

Le attività di formazione e realizzazione PoC sono risultate perfettamente in linea rispetto alla pianificazione. L'attività di analisi è invece stata sovrastimata. Questo mi ha permesso di dedicare l'equivalente di tre giorni in più alla realizzazione del prototipo.

## 5.2 SVILUPPI FUTURI

Un punto fermo per il tutor Alex prevedeva che il prototipo da me realizzato fosse predisposto ad essere successivamente esteso, per sostituire definitivamente la precedente versione di JDI sviluppata da SMI.

Nell'ultima settimana di stage si sono susseguite diverse riunioni per determinare il proseguo dello sviluppo di JDI. Il riassunto di queste è stato che entro settembre 2019 si sarebbe dovuti arrivare alla conclusione della codifica delle funzionalità mancanti. Entro la fine dell'anno è invece prevista la prima installazione presso il cliente che per primo aveva segnalato i problemi del primo sviluppo sottolineati nel capitolo 3.

Il prodotto illustrato in questo documento ha quindi raggiunto una maturità tale da poter essere impiegato dal team JMES, con cui sono sempre stato a stretto contatto, nella continuazione dello sviluppo.

I successivi passi da svolgere per il team in modo da ottenere un prodotto pronto ad essere installato in produzione consisteranno in:

- Creazione dell'interfaccia *web* di JDI che permetterà di condividere i dati raccolti con la famiglia di prodotti SMI, in primis JMES;
- Integrazione dei numerosi *driver* esistenti per interagire con una vasta gamma di PLC che altri potenziali clienti utilizzano.

## 5.3 CONSIDERAZIONI FINALI

Lo stage svolto presso Sanmarco Informatica mi ha trasmesso molto più di quanto sia possibile riassumere in un documento di poche pagine. Sono stato inserito in un team che quotidianamente affronta problemi su larga scala, sia umani che tecnici.

Quello che mi ha spinto a cogliere la sfida posta da questo stage è stata la possibilità di lavorare non solo con il software ma anche con l'hardware. In questo senso il diploma in Automazione, conseguito prima di iniziare il percorso di laurea triennale, mi ha fornito le basi necessarie per comprendere la terminologia che i tecnici SMI utilizzavano e gli strumenti che non sono usuali nell'informatica tangibile nel nostro corso di studi.

Ho apprezzato particolarmente gli insegnamenti che il triennio mi ha dato. Ho potuto mettere in pratica le conoscenze acquisite soprattutto nei corsi di Ingegneria del Software, Programmazione Concorrente e Distribuita e Tecnologie Open Source. Ho percepito il mio livello di preparazione sufficiente da poter affrontare gli argomenti proposti potendo sempre aggiungere un mio pensiero critico.

Volendo invece trattare le lacune che ho riscontrato, avrebbe sicuramente giocato a mio favore la presenza nel piano di studi di corsi affini al mondo industriale. Comprendendo che ciò ricade solitamente nella parte ingegneristica dell'informatica, credo che fornire le conoscenze di base su un argomento come quello dei controllori a logica programmabile non possa che arricchire ed incuriosire lo studente.

Terminata questa esperienza, confrontandomi con amici, compagni di corso, ho realizzato l'abissale differenza nei progetti svolti. Le tecnologie impiegate sono infatti diametralmente opposte. Mi sono scontrato con problemi che si hanno quando si lavora ad un basso livello di astrazione. Gran parte dei componenti realizzati non facevano uso di librerie esterne. La gestione della concorrenza è stata fatta a basso livello, forzandomi a comprendere fino in fondo quanto stavo sviluppando. Nessun *framework* ha indirizzato il mio lavoro.

Credo che questa esperienza sia stata utile per riconoscere la complessità del lavorare con tecnologie di base, ma ha anche provato che non è sempre necessario affidarsi al codice di terzi per realizzare un prodotto, soprattutto se si richiede il totale controllo di ciò che si utilizza. In questo caso il software prodotto è risultato più difficile da scrivere ma ha raggiunto gli obiettivi di manutenibilità posti inizialmente.

Ringrazio quindi Sanmarco Informatica e il team JMES per avermi permesso di vivere un'esperienza che ha arricchito il mio curriculum con le migliori pratiche di sviluppo software ma soprattutto che mi ha insegnato quanto importanti siano le relazioni interpersonali nell'ambiente di lavoro.







# Acronimi

BU *Business Unit.*

CRS *Centro Ricerca e Sviluppo.*

IDE *Integrated Development Environment.*

MES *Manufacturing Execution System.*

PoC *Proof of Concept.*

RPC *Remote Procedure Call.*

RTC *Rational Team Concert.*

SMI *Sanmarco Informatica.*

TDD *Test Driven Development.*

WAMP *Web Application Messaging Protocol.*



# Glossario

*Configurator* Componente che estrae dal file di configurazione in formato JSON le informazioni necessarie a creare ed avviare i componenti necessari al corretto funzionamento del sistema.

*Engine Thread* che utilizza un *driver* per effettuare cicli di lettura su PLC a intervalli regolari. Utilizzato nel PoC.

*PollingTagRepository* Componente che raccoglie e mantiene aggiornati i valori delle *Tag* lette. Viene utilizzato dai *TagPoller* per delegare la gestione dei dati letti.

*Rational Team Concert* Sviluppato da IBM, è una tecnologia per il *team management* che centralizza le funzionalità fondamentali per un team di sviluppo software: versionamento del codice, *issue tracking system* e sistema di *build* del codice.

*TagConfiguration* Rappresentazione dell'area di memoria di un PLC. In essa sono contenute le informazioni relative all'area di memoria rappresentata: indirizzo in memoria, tipo del dato, permessi di accesso in lettura/scrittura.

*TagPoller* Componente che utilizza il *driver* per effettuare cicli di lettura su PLC a intervalli regolari. Un *TagPoller* detiene la configurazione del PLC associato per conoscere le aree di memoria da leggere.

*TagUpdaterRepository* Componente che gestisce le richieste di scrittura di una specifica *Tag*. Fornisce ad ogni *TagUpdater* i dati necessari per effettuare le scritture.

*TagUpdater* Componente che utilizza il *driver* per effettuare la scrittura su PLC quando richiesto.

*Tag* Insieme di *TagConfiguration* e il valore che essa assume (se si tratta di un valore letto) o che deve assumere (se si tratta di un valore da scrivere).

*WebSocket* Protocollo di comunicazione che permette di comunicare in maniera *full-duplex*, cioè a due direzioni, su una singola connessione TCP.

*benchmark* Esecuzione di un programma con lo scopo di misurare e valutare le sue prestazioni, eseguendo diversi test appositamente studiati.

*business unit* Un sottoinsieme dell'impresa che rappresenta un business specifico concentrato su una particolare linea di prodotti.

*digital industry* Relativamente all'industria 4.0, ci si riferisce al concetto di fabbriche dove le macchine sono potenziate con connettività *wireless* e sensori, connesse a un sistema che può tenere sotto controllo l'intera filiera produttiva e compiere delle decisioni autonome sulla base dei dati raccolti.

*driver* Implementazione di uno specifico protocollo di comunicazione. È racchiuso in un componente ed espone un'interfaccia che rende semplici agli utenti operazioni come connessione, disconnessione e invio richieste.

*outsourcing* L'appalto a una società esterna di determinate funzioni o servizi, o anche di interi processi produttivi.

*polling* Attività che viene effettuata ripetutamente per verificare il cambiamento di un certo stato. Nell'ambito del progetto l'attività di *polling* è quella effettuata nei confronti dei PLC per rilevare cambiamenti nei dati al suo interno.

.

# Ringraziamenti

Con l'esperienza di stage si sono conclusi tre intensi anni che caratterizzeranno la mia via da ora in poi. Mi sento quindi in dovere di ringraziare chi, spiritualmente e fisicamente, mi è stato vicino e ha contribuito alla buona riuscita dei miei studi.

Alla mia famiglia va un pensiero speciale poiché ha reso tutto questo possibile, con il sostegno morale ed economico per cui non sarò mai grato abbastanza.

Ad Erica e Lorenzo, un esempio che ammiro da una vita, grazie per gli insegnamenti infusi negli anni.

La mia ragazza, Raluca, forte come nessuno ha sempre mantenuto alto il mio spirito, instillando in me amore e fiducia. Questi valori saranno il fondamento su cui si baserà la mia vita, per questo le sono grato.

Ai miei amici, quelli di una vita e quelli conosciuti durante l'università. Grazie per le risate, per i consigli e per aver reso ancora più preziosi gli anni più belli della mia vita.

A Sanmarco Informatica e la sua famiglia. Grazie ai team JMES e JPM. Grazie a Domenico, Giulia, Gionata e soprattutto al mio tutor aziendale Alex Beggiato.

*Padova, settembre 2019*





# Bibliografia

- [1] Modbus-IDA, “*MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION*,”  
[modbus.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1b.pdf](http://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf), Dic 2006.
- [2] S. Sen, *Fieldbus and Networking in Process Automation*. CRC Press, 2017.
- [3] S. Informatica, “Pagina informativa del programma sanmarco academy,”  
[sanmarcoacademy.com](http://sanmarcoacademy.com).
- [4] I. Week, “*Five benefits of a MES*,”  
[industryweek.com/companies-amp-executives/five-benefits-mes](http://industryweek.com/companies-amp-executives/five-benefits-mes).
- [5] A. Direct, “*History of the PLC*,”  
[library.automationdirect.com/history-of-the-plc](http://library.automationdirect.com/history-of-the-plc).
- [6] E. Essentials, “*What is a PLC*,” [machinedesign.com/engineering-essentials/engineering-essentials-what-programmable-logic-controller](http://machinedesign.com/engineering-essentials/engineering-essentials-what-programmable-logic-controller).
- [7] Wikipedia, “*List of Automation Protocols*,”  
[en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_automation\\_protocols](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_automation_protocols).
- [8] Oracle, “*Java SE8 ConcurrentHashMap documentation*,” [docs.oracle.com/javase/8/docs/api/java/util/concurrent/ConcurrentHashMap.html](http://docs.oracle.com/javase/8/docs/api/java/util/concurrent/ConcurrentHashMap.html).
- [9] Atais, “Risultati test di performance di *ConcurrentHashMap* e *HashMap*,”  
[stackoverflow.com/questions/1378310/performance-concurrenthashmap-vs-hashmap](http://stackoverflow.com/questions/1378310/performance-concurrenthashmap-vs-hashmap), 2009.
- [10] Wikipedia, “Problema del produttore/consumatore,”  
[en.wikipedia.org/wiki/Producer%E2%80%93consumer\\_problem](http://en.wikipedia.org/wiki/Producer%E2%80%93consumer_problem).