



**UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA**

**DIPARTIMENTO  
DI INGEGNERIA  
DELL'INFORMAZIONE**

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE**

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA**

**Analisi e sviluppo di un'interfaccia di realtà aumentata per  
applicazioni di automazione industriale.**

**Relatore: Prof. Stefano Vitturi**

**Laureando: Cagnin Giacomo  
Matricola n°1163946**

**ANNO ACCADEMICO 2021 – 2022**

**Data di laurea 25/11/2022**

## INDICE

<b>Introduzione.....</b>	<b>3</b>
<b>Capitolo 1.....</b>	<b>4</b>
1.1 Sintex s.r.l.....	4
1.2 Realtà aumentata e realtà virtuale.....	5
1.3 Nozioni tecniche.....	6
1.4 Benefici della realtà aumentata.....	7
<b>Capitolo 2.....</b>	<b>10</b>
2.1 Scelta dei software.....	10
2.2 EcoStruxure Augmented Operator Advisor.....	11
2.3 Variabili di processo.....	12
2.4 Sistema Software.....	13
2.5 Progetto di test.....	15
<b>Capitolo 3.....</b>	<b>24</b>
3.1 Sistema di dosaggio automatico.....	24
3.2 Messa in servizio.....	28
<b>Capitolo 4.....</b>	<b>32</b>
4.1 Risultati tecnici.....	32
4.2 Osservazioni finali.....	34
<b>Glossario.....</b>	<b>36</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>38</b>

## **Introduzione**

Il seguente lavoro di tesi descrive l'esperienza di stage condotta presso Sintex s.r.l. (Galliera Veneta, PD), azienda specializzata in software per l'automazione industriale, nel periodo compreso tra Aprile e Settembre del 2022 durante il quale è stato sviluppato un sistema software, basato sull'utilizzo dell'innovativa realtà aumentata, per il monitoraggio e l'assistenza sul campo nell'ambito di impianti industriali. Lo scopo del progetto consiste nel valutare l'applicabilità e sperimentare i benefici effettivi di questa tecnologia nel contesto dell'automazione industriale; la realtà aumentata è infatti una tecnica di realtà virtuale presente ormai da oltre un decennio e frequentemente utilizzata in ambiti quali sanità, automotive, pubblica sicurezza, turismo e marketing, ma ancora poco diffusa in ambito industriale. Il progetto software sviluppato su queste basi è stato infine implementato su una macchina per il dosaggio automatico e produzione di miscele granulari e liquide, di proprietà dell'azienda Color Service s.r.l. (Dueville, VI).

L'elaborato è strutturato come segue: nel capitolo 1 si fornisce una panoramica dell'ambiente in cui è stato sviluppato questo progetto; lo si fa introducendo l'azienda ospitante, soffermandosi sugli obiettivi di ricerca e sviluppo prefissati, e fornendo successivamente un'introduzione alla realtà aumentata al fine di valutare i vantaggi di questa tecnologia e come potrebbe in particolare influenzare il mondo dell'industria. Il capitolo 2 tratta dell'effettiva realizzazione del progetto; si inizia con una prima sezione dedicata all'attività di scelta del prodotto da utilizzare, terminata la quale viene discussa la struttura del sistema software, e in particolare la comunicazione tra i macromoduli che lo costituiscono. Il capitolo si conclude con la descrizione di un progetto di prova e dei test effettuati per verificarne il corretto funzionamento sotto ogni aspetto. Il terzo capitolo di questo lavoro di tesi si concentra nell'applicazione del progetto realizzato al caso dell'azienda Color Service s.r.l. , dove si discute la struttura dell'impianto e la messa in servizio per osservare il comportamento dell'interfaccia.

Infine nel quarto capitolo vengono tratte le conclusioni generali del lavoro di tesi, riassumendo i risultati più importanti ottenuti dall'attività di tirocinio.

## **Capitolo 1**

Questo primo capitolo si propone di costruire un'introduzione allo scopo di rendere chiari ed espliciti gli obiettivi e le caratteristiche del progetto realizzato durante il periodo di tirocinio, facendo sì che, al termine della visione di questo elaborato, il lettore abbia una solida e completa visione del lavoro svolto. Di conseguenza il capitolo si apre con una presentazione dell'azienda ospitante, Sintex s.r.l., descrivendo l'ambiente di lavoro; dopodiché viene definito in modo chiaro il concetto di realtà aumentata (Augmented reality in inglese, in seguito identificata anche con l'acronimo AR) visionando alcuni dei più comuni campi di applicazione di questa tecnologia. Infine ci si immerge appieno nell'attività di tirocinio, delineando gli scopi del progetto e la modalità di approccio alla realtà aumentata adottata in questa esperienza, citando anche alcune delle opportunità che l'AR può offrire nel campo dell'automazione industriale.

### **1.1 Sintex s.r.l.**

Fondata nel 2002, l'azienda Sintex s.r.l. sviluppa da anni software rivolti al campo delle applicazioni industriali per l'automazione e il controllo distribuito. Grazie alle molteplici esperienze fatte in questo campo e all'elevata preparazione tecnica di oltre 20 tecnici e ingegneri, Sintex è in grado di fornire ai propri clienti prodotti che soddisfano tutte le loro necessità e specifiche, mantenendo un'elevata qualità indipendentemente dal settore dell'automazione e dalle esigenze del contesto nel quale opera. In Sintex vengono sviluppate applicazioni utilizzando linguaggi di programmazione di alto livello quali Java, C++, Javascript, Delphi, e operando con qualsiasi tipologia di basi di dati.

Oltre allo sviluppo di software, Sintex supporta i propri clienti nella scelta e messa in servizio delle configurazioni di rete, degli hardware e in generale degli strumenti più opportuni per realizzare il proprio sistema o processo di automazione.

Sintex utilizza soprattutto la tecnologia offerta da Siemens, con la quale collabora sin dal 2002, proponendo comunque anche offerte di case produttrici forse meno conosciute ma non di meno interessanti: Phoenix Contact, Proface, Omron, e Seneca solo per citare alcuni esempi. Vengono fornite in questo modo soluzioni che soddisfano qualsiasi richiesta relativa alla tecnologia utilizzata; si possono poi connettere sistemi costituiti da strumenti di case produttrici diverse,

realizzando, quando richiesto, protocolli di comunicazione dedicati al fine di raggiungere tale obiettivo.

L'affermata partnership con Siemens, ufficializzata nel 2011, certifica la qualità dei servizi offerti da Sintex, dando garanzia sul portfolio di soluzioni esclusive e ad alta efficienza. La vasta e approfondita conoscenza dei tecnici relativa ai prodotti Siemens A&D unita ad un'elevata competenza nell'utilizzo dei più importanti ambienti per lo sviluppo di software PLC e HMI ed una consolidata esperienza su tutti i prodotti Simatic Siemens, permette di mantenere alti standard di programmazione, ottenendo di conseguenza risultati qualitativamente importanti.

Il fatto di avere a disposizione solide competenze che coprono tutto il panorama dell'ingegneria dell'informazione, dell'ingegneria meccanica e della fisica, unito ad un'attenzione particolare per la ricerca portano Sintex a poter produrre soluzioni innovative e a proporsi come partner per lo sviluppo di nuove idee e innovazioni. In quest'ottica si inserisce anche la collaborazione con l'Università degli studi di Padova; infatti dal 2016, con il dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Sintex forma e accompagna gli studenti del DEI nella stesura della tesi di laurea, mettendo a disposizione competenze e mezzi per sviluppare progetti di qualità, ampliando in questo modo la preparazione tecnica dei laureandi.

## **1.2 Realtà aumentata e realtà virtuale**

Con il termine realtà aumentata si intende una tecnica di realtà virtuale attraverso cui vengono aggiunte informazioni alla scena reale. Nella sua espressione più completa, un sistema di realtà aumentata acquisisce continuamente la scena, osservata attraverso una telecamera solidale con il visore e ne analizza il contenuto con algoritmi di visione artificiale per determinare il punto di vista dell'osservatore rispetto ad essa. Questo dato permette di proiettare, attraverso il visore, la grafica di arricchimento della realtà in modo da collimare perfettamente il sistema occhio-scena e fornire così le indicazioni 'agganciate' alla posizione cui si riferiscono, indipendentemente, entro certi limiti, dal punto di osservazione.

Si può dunque considerare la realtà aumentata come il collegamento tra mondo reale e digitale, distinta perciò dalla nozione più generale di realtà virtuale (virtual reality, VR), termine associato alla ricostruzione digitale di una situazione reale con la quale l'utente può interagire. Lo scopo ultimo della realtà virtuale è infatti quello di simulare un ambiente reale per mezzo di tecnologie elettroniche, sino a dare a chi la sperimenta l'impressione di trovarsi realmente

immerso in tale ambiente. Tecniche di VR sono usate, tra l'altro, nei videogiochi, nell'addestramento militare dei piloti dell'aeronautica oppure nella modellistica di sistemi microscopici.

### **1.3 Nozioni tecniche**

Per quanto riguarda l'aspetto hardware, l'Augmented reality viene integrata attraverso dispositivi molto diversi fra loro in base alla situazione in cui viene utilizzata: visori sostenuti tramite supporti equipaggiati sulla testa, come i caschi immersivi, che permettono di vedere la scena reale attraverso lo schermo semitrasparente (see-through), oppure apparecchi di mobile computing di grande diffusione quali smartphone, tablet e altri del genere, dotati di telecamera che punti dal lato opposto al display e sistemi di geolocalizzazione e di orientamento locale (GPS, accelerometri e così via), utilizzati per mostrare grafica e testi generati dal computer.

Si possono distinguere 3 categorie principali tra i diversi tipi di display che fanno uso di realtà aumentata: gli HUD (head-up display) sono display ancorati nello spazio che permettono la visualizzazione di informazioni aggiuntive senza usufruire di alcun ulteriore supporto fisico indossato dall'utente, esempi di questa tecnologia sono i parabrezza delle auto più recenti e i display usati nei cockpit degli aerei. Nella seconda categoria rientrano gli head-mounted displays (HMD), dispositivi dotati di apposito supporto per poter essere indossati dall'utente; un esempio emblematico è costituito dal prodotto HoloLens di Microsoft, utilizzato ad esempio dal gruppo Renault per la formazione degli addetti alla manutenzione e riparazione delle nuove auto elettriche. L'ultima categoria di display, sicuramente la più conosciuta e diffusa, e per questo quella considerata nello sviluppo di questo progetto, è costituita dagli hand-held displays, nella quale rientrano smartphone, tablet e ogni altro dispositivo portatile dotato di monitor.

Caratteristica principe della realtà aumentata è, come affermato in precedenza, la sovrapposizione di informazioni alla scena reale, ciò costituisce il cosiddetto principio dell'overlay e corrisponde ad introdurre un nuovo livello informativo integrato alla realtà. Questa combinazione reale-virtuale può avvenire in optical see-through tramite display semitrasparenti, tecnica che tuttavia introduce la problematica di dover considerare anche la posizione dell'occhio dell'osservatore per la corretta collimazione. Più semplicemente, invece, in video see-through si sceglie di riprodurre su un display, come background dell'applicazione, il video acquisito in tempo reale dalla telecamera, su cui è sovrapposta la grafica di annotazione view-dependent.

Altro aspetto da tenere a mente quando si sviluppa un progetto di questo tipo è rappresentato dal fatto che molti degli algoritmi che oggi implementano la realtà aumentata fanno uso di un sistema di premarcatura della scena considerata, attraverso la sovrapposizione di immagini o tramite precise figure che, quando riconosciute, costituiscono dei punti di riferimento nello spazio. La sfida della ricerca consiste in particolare nello sviluppare algoritmi sempre più sofisticati che permettono la corretta sovrapposizione spaziale in 3D senza la necessità di premarcatura della scena, improponibile in molti dei contesti applicativi.

## **1.4 Benefici della realtà aumentata**

Vengono a questo punto delineate le ragioni per cui, nonostante questa tecnologia sia attualmente limitata a specifiche istanze di applicazione, la realtà aumentata è diventata oggi sempre più richiesta sia dagli utenti e consumatori, sia dalle imprese come integrazione al loro sistema produttivo in vista dell'affermazione della cosiddetta Industria 4.0, paradigma che identifica la digitalizzazione e connessione di tutti i dispositivi presenti nei sistemi produttivi, in modo da ottimizzare i costi e ridurre il time to market, per affrontare al meglio la competizione globale.

Michael E. Porter, direttore dell'Istituto di Strategia e Concorrenza della Facoltà di Economia di Harvard, sostiene che l'esigenza di AR nasce poiché «c'è un profondo divario tra l'enorme quantità di dati digitali che abbiamo a disposizione ed il mondo fisico in cui li applichiamo. Mentre la realtà è tridimensionale, i ricchi dati che oggi possono informare le nostre decisioni e le nostre azioni restano intrappolati su pagine e schermi bidimensionali. Questa discrasia tra mondo reale e mondo digitale limita la nostra capacità di sfruttare la massa di informazioni e di indicazioni generate da miliardi di prodotti intelligenti ed interconnessi in tutto il mondo».

L'impiego di questa tecnologia permette quindi di coniugare la giusta quantità e qualità delle informazioni in un contesto preciso, accompagnate da una notevole facilità interattiva.

I vantaggi offerti dalla realtà aumentata attirano i consumatori, con un conseguente aumento della domanda relativa ai prodotti che fanno uso di questa tecnologia. Questo perché l'AR garantisce maggiore certezza sulla qualità della merce, fornisce più confidenza nel caso di acquisti online o in una situazione nella quale si compra un certo tipo di prodotto per la prima volta. Un esempio è costituito dall'applicazione "Place" del colosso IKEA, con cui è possibile osservare come un articolo si inserisce nel proprio ambiente domestico o lavorativo, fornendo uno strumento utile nella fase precedente l'acquisto. [1] L'AR aiuta poi a stimare quanto un prodotto soddisfa le esigenze del cliente; in questo modo si fa meno affidamento su una scelta

basata su marchi già noti e sperimentati, favorendo brand nuovi e poco conosciuti. Grazie a queste qualità la realtà aumentata è oggi stabilmente affermata in molti settori; a partire dall'intrattenimento, il quale sfrutta molto la trasformazione di figure statiche in oggetti 3D animati e interattivi, fino all'ambito dell'educazione, dove costituisce un mezzo efficace per fornire in modo chiaro a chi ne usufruisce informazioni e contenuti, grazie alla sua natura interattiva e immersiva. Aiuta inoltre a visualizzare meccanismi e processi complessi, e ad aggiungere informazioni evidenziando particolari caratteristiche nell'ambiente, come ad esempio delle promozioni in corso in un negozio o direttive per l'assistenza ai clienti. Un altro impiego dove questa tecnologia assume valenza cruciale riguarda il processo di produzione, dove gli addetti sono affiancati dalle informazioni opportune per completare al meglio e in sicurezza i propri compiti. In merito a ciò, è significativo menzionare come la società Boeing abbia messo a confronto le performance degli operatori durante lo svolgimento di task complessi, portati a termine mediante l'uso di istruzioni presentate su supporti cartacei e schermi 2D oppure facendo uso dell'AR: i benefici apportati da quest'ultima sono stati fortemente superiori. [2]

Di conseguenza le attività di ricerca svolte durante questo tirocinio individuano quelle che possono essere delle caratteristiche utili per avere una buona esperienza di AR:

- Integrazione appropriata di oggetti reali e virtuali;
- Controllo degli oggetti virtuali da parte dell'utente e utilizzo di questi come se si trattasse di oggetti reali;
- Il modello virtuale deve essere il più possibile accurato per identificarsi con la sua controparte reale;
- Animazione degli oggetti virtuali;

In questo lavoro di tesi tuttavia non vengono trattati modelli virtuali 3D, statici e animati, in quanto deviano dagli interessi dell'applicazione sviluppata.

In un contesto aziendale, ed in particolare trattandosi di automazione industriale, l'implementazione di AR non risulta più così lineare e immediata. Questo settore infatti si rivolge ad imprese che richiedono fin da subito elevata qualità e affidabilità. Tali clienti devono infatti, prima di investire in questa tecnologia, capire a fondo in che modo l'AR possa aiutare la loro azienda, quindi trovare opportuni casi di utilizzo che offrano un valore duraturo e supportino realmente i dipendenti. Lo scopo primario di questo lavoro non è quindi quello di sviluppare, completamente o in parte, un prodotto software disponibile per la vendita, bensì di

“sperimentare” ( e se vogliamo “giocare”) con questa tecnologia per esplorare quali opportunità può, e non può, offrire per il mondo dell’automazione industriale. Si è scelto perciò un software già sviluppato che fa uso di realtà aumentata, e attraverso questo abbiamo poi valutato quali vantaggi offre e come si comporta in un particolare caso di studio, facendo delle scelte riguardo quali caratteristiche dell’AR sono di interesse, almeno inizialmente, e osservandone sia i benefici che le limitazioni.

In una prima fase di lavoro sono state individuate alcune delle possibili applicazioni di elezione della realtà aumentata in ambito industriale; in particolare quelle situazioni in cui è necessario un supporto manualistico contestuale alle operazioni effettuate, in cui devono cioè essere fornite indicazioni nel luogo e al momento opportuni, come nel caso della manutenzione o più in generale nella semplificazione dei flussi di lavoro.

Si parla quindi soprattutto di riparazione, manutenzione progettazione e assemblaggio, attività di cui in seguito si trova un più dettagliato elenco:

- Presentazione di un macchinario, fornendo precise informazioni e manuali di istruzioni grazie al supporto di contenuti in tempo reale che compaiono sullo schermo, mostrando ad esempio sia l’esterno che l’interno di un componente;
- Manutenzione degli impianti, riducendo i tempi di fermo macchina non pianificati, comprimendo i costi di esercizio e di manutenzione. Tale necessità può derivare da guasti all'hardware, mancanza di un operatore competente o corretta diagnostica;
- Migliore e più rapida formazione del personale;
- Controllo di qualità più efficace;
- Ruolo significativo in fase di pre-produzione, avendo la possibilità di lavorare con una rappresentazione del prodotto, migliorando la condivisione e comunicazione di informazioni nel team di lavoro. Simulazione del prodotto in condizioni estreme;
- Assistenza all’operatore in fase di assemblaggio e produzione, lasciando le mani libere e guidando passo passo nelle operazioni da effettuare;
- Assistenza da remoto al cliente finale;
- Maggiore sicurezza;

## Capitolo 2

Dopo una prima parte introduttiva a questo lavoro di tesi, segue, in questo capitolo, la trattazione relativa alla realizzazione vera e propria del sistema software sviluppato, coprendo tutte le fasi di progettazione e terminando con l'implementazione di un progetto di prova e dei test effettuati prima di una successiva applicazione sul campo.

### 2.1 Scelta dei software.

La natura sperimentale ed esplorativa di questo progetto, almeno nella sua fase iniziale, unita ai tempi a disposizione per lo sviluppo ha imposto un limite sugli strumenti da utilizzare. Per semplicità e convenienza è stata fatta la scelta di iniziare da un software realizzato da terze parti già predisposto ai nostri scopi, invece di dover costruire l'applicazione da zero attraverso l'uso di opportuni ambienti di sviluppo, strada comunque presa in considerazione e molto probabilmente necessaria nel caso in cui l'AR diventi, in modo consolidato, parte integrante della realtà dell'automazione industriale. Esistono innumerevoli software che fanno uso della realtà aumentata, gran parte dei quali sono però destinati ad uso generico, dato che puntano ad offrire i loro servizi ad uno spettro di campi il più ampio possibile e richiedono quindi di essere interfacciati in modo opportuno al particolare caso di studio, sulla base delle esigenze che devono essere soddisfatte.

Tenendo conto perciò di quanto affermato fino ad ora, sono state valutate le offerte di alcune tra le principali aziende che si sono messe in gioco nella realizzazione di soluzioni per l'industria 4.0. Per quanto riguarda le fonti utilizzate in questa fase, al fine di individuare un software adatto in commercio è stato fatto riferimento ad alcune ricerche sul web unite ad indicazioni da parte di ingegneri senior di Sintex. In particolare nella scelta del software è stata prestata particolare attenzione alle seguenti caratteristiche:

- garanzia di supporto per tablet e smartphone, di gran lunga più comuni rispetto ad altri dispositivi di visione, che perciò non richiedono, almeno inizialmente, un apposito investimento.
- visualizzazione di dati in tempo reale provenienti dal campo, aspetto fondamentale per gli obiettivi prefissati nel nostro progetto.

- possibilità di ricevere assistenza da parte del produttore e documentazione tecnica per consultare le specifiche del prodotto, si ha infatti a che fare con una realtà industriale dove è richiesta un'elevata affidabilità da parte dei software messi in servizio.

Tra le principali proposte prese in considerazione, per quanto riguarda programmi di carattere generale per applicazioni di realtà aumentata, rientrano ad esempio il software Vuforia Studio del gruppo PTC, AR Process Visualization sviluppato da Realmore e la soluzione Frontline dell'azienda TeamViewer; sono state poi visionate, con poco successo, anche possibili soluzioni di aziende affermate nel settore dell'automazione industriale quali Siemens AG, Rockwell Automation ed Emerson Electric.

Il risultato di questa ricerca ha portato alla scelta di utilizzare il software EcoStruxure Augmented Operator Advisor di proprietà di Schneider Electric, una delle aziende leader nel settore dell'automazione e dell'energia. Il motivo principale di questa conclusione è legato soprattutto a questioni di praticità e semplicità: si tratta infatti di un software che, oltre a rispettare le caratteristiche sopra elencate, nasce già come prodotto rivolto all'automazione industriale e si adatta al meglio alle esigenze particolari dell'applicazione.

## **2.2 EcoStruxure Augmented Operator Advisor**

EcoStruxure Augmented Operator Advisor (di seguito anche indicato per brevità come AOA) è un software di realtà aumentata che sfrutta fotografie precaricate del sito di applicazione; eventualmente integrate con l'utilizzo di codici QR, denominati tag, in caso di ambienti particolarmente "variabili" rispetto alle fotografie citate in precedenza. Il fine è quello di determinare in modo preciso la posizione spaziale in cui si trova l'utente tramite la sovrapposizione di superfici piane (matching planare) implementata con opportuni algoritmi; questo approccio si differenzia rispetto al suo duale che fa invece uso di figure le quali costituiscono opportuni riferimenti spaziali, pur ricorrendo comunque ad una premarcatura della scena nella quale si vuole inserire la realtà aumentata.

Riconosciuta la posizione dell'operatore, e di conseguenza le informazioni da dover visualizzare, la combinazione reale-virtuale avviene in video see-through, dove si sceglie di riprodurre come background dell'applicazione il video real-time acquisito dalla telecamera sul quale è sovrapposta la grafica di annotazione view-dependent.

Vengono ora riportate di seguito alcune tra le funzionalità relative incorporate tramite AR, esaminate poi con maggiore dettaglio nella parte finale del capitolo, più importanti e utili per definire al meglio la tipologia di applicazione trattata in questa tesi:

- Visualizzazione di diversi tipi di informazioni tra cui dati real-time provenienti da PLC e/o da un database SQL, documenti, file PDF, immagini, pagine web, etc.
- Possibilità di monitorare parti non accessibili e/o visibili dell'impianto e le relative variabili di processo.
- Assistenza all'operatore nell'esecuzione delle procedure tramite documentazione e sequenze passo-passo, implementabili attraverso una programmazione a blocchi.

Il software AOA è costituito da tre componenti principali che andranno a costituire i primi macroblocchi del sistema software realizzato. Schneider Electric mette a disposizione del progettista un Builder, installato localmente oppure accessibile come applicazione web-based, con il quale è possibile realizzare il proprio progetto caricando le immagini opportune e inserendo le informazioni rilevanti che si vogliono mostrare nell'overlay. Il file così generato viene poi importato in formato .zip nel Runtime, il secondo dei componenti citati in precedenza; si tratta di un software che, nella sua definizione generale, fornisce i servizi necessari all'esecuzione di un programma, pur non facendo parte in senso stretto del sistema operativo; in particolare raccoglie tutte le informazioni da visualizzare nei punti di interesse e le invia per la visualizzazione all'EcoStruxure Augmented Operator Advisor App, terza componente di AOA. Gestisce inoltre il database contenente le fotografie delle scene e dell'apparecchiatura contenute nel progetto caricato. Infine l'App, eseguibile su tablet Android, iOS e Windows, visualizza la scena reale, ossia ciò che vede l'operatore tramite la fotocamera integrata del tablet e la confronta con le fotografie delle scene memorizzate nel progetto. Per ottenere il rilevamento, la scena da visualizzare con la fotocamera e l'immagine memorizzata devono coincidere. I controlli dell'interfaccia utente e i punti di interesse associati alla scena che costituiscono l'overlay finale vengono quindi visualizzati.

## **2.3 Variabili di processo**

All'interno di una fase ancora acerba della progettazione, specialmente per quanto riguarda la scelta dell'ambiente in cui andare a sperimentare questa tecnologia, un nodo fondamentale che è stato affrontato riguarda le modalità di visualizzazione in realtà aumentata dei dati real-time che il PLC ottiene dall'impianto. Le sorgenti di dati prese inizialmente in considerazione sono il PLC stesso, il sistema S.C.A.D.A. Simatic WinCC e un database SQL server. L'ultima di queste tre opzioni è stata scartata fin da subito perché inutilmente elaborata in quanto necessita di codice opportuno per il trasferimento dei dati necessari all'applicazione che, inoltre, vengono

comunque prelevati dal sistema S.C.A.D.A.; in pratica è più conveniente andare direttamente alla fonte. Data la natura sperimentale del progetto, tra le rimanenti due opzioni, è stato poi scelto, per semplicità, di utilizzare come sorgente direttamente il PLC, il quale ottiene i dati dell'impianto tramite schede di I/O interfacciate con appositi trasduttori. La limitazione di questa scelta è dettata anche dal numero massimo di dispositivi che si possono identificare come sorgenti nel sistema software che verrà progettato, di conseguenza nel caso in cui in futuro si vorrà estendere l'applicazione a strutture più complesse e/o in situazioni dove si ha a che fare con impianti più datati, controllati quindi da un numero elevato di PLC, molto probabilmente sarà più conveniente interfacciarsi direttamente con il sistema S.C.A.D.A.

Indipendentemente dalla scelta della sorgente dei dati, EcoStruxure AOA non permette comunque la diretta visualizzazione di questi ultimi, se non prima passando attraverso un software ausiliario, determinato in base alla sorgente delle variabili di processo da portare in realtà aumentata. In questo caso tale ruolo è assegnato a Pro-face BLUE, software sviluppato sempre da Schneider Electric; si tratta di un programma HMI (Human Machine Interface) per lo sviluppo e progettazione di interfacce grafiche per il controllo e monitoraggio di impianti industriali. Tale software non è quindi utilizzato allo scopo di sfruttare le sue funzionalità per il design grafico, bensì è stato fatto uso della sua architettura "di background"; in questo contesto lo si può tranquillamente considerare come una scatola nera, con la quale vengono trasferiti i dati a EcoStruxure AOA per essere visualizzati in AR. Dal punto di vista pratico quindi BLUE risulterà essere al pari di un processo invisibile all'utente finale, configurato in qualità di server allo scopo di creare un canale di comunicazione verso il PLC per "ricevere" le variabili di processo. Non verranno utilizzate, se non in minima parte, le funzioni utili a progettare un'interfaccia grafica per il monitoraggio dell'apparecchiatura che costituirà il caso pratico di applicazione, questo perché tale interfaccia è già incorporata efficacemente nel web server progettato e messo in servizio da Sintex.

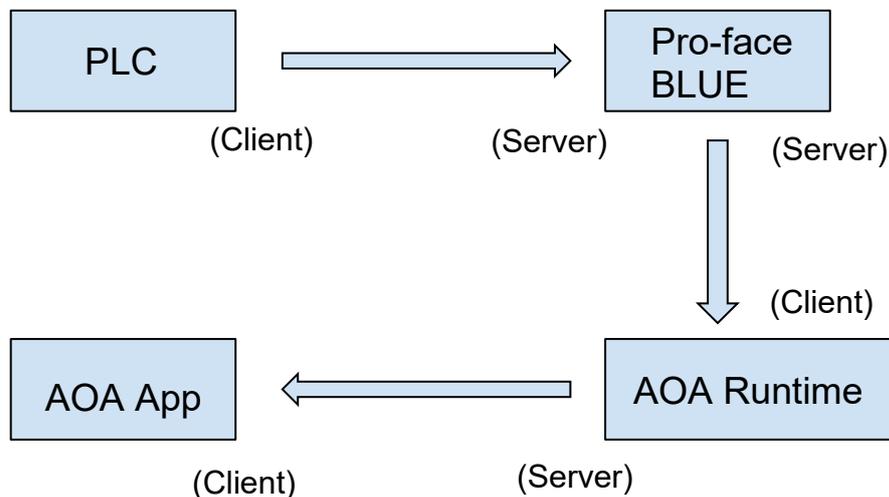
## **2.4 Sistema Software**

La successiva fase di sviluppo, trattata in questo paragrafo, consiste nello stabilire l'organizzazione dei moduli definiti in precedenza che compongono il sistema software e i loro collegamenti, evidenziandone sia la struttura logica che quella fisica.

Il PLC viene configurato come client ed interroga il software BLUE, che svolge la funzione di server, per scrivere all'interno di uno spazio di memoria predisposto i valori delle variabili. Contemporaneamente AOA Runtime, in qualità di client, interroga BLUE per poter leggere le variabili in questione e, comportandosi da server nei confronti dell'interfaccia verso

l'applicazione per smartphone, rende possibile a quest'ultima il reperimento delle variabili utili. Altri dati, non provenienti dal PLC, che devono essere visualizzati in AR, vengono integrati nel file .zip tramite l'apposito Builder e si trovano di conseguenza all'interno del progetto eseguito da AOA Runtime. Tali informazioni sono poi messe a disposizione dell'App in modo analogo alle variabili.

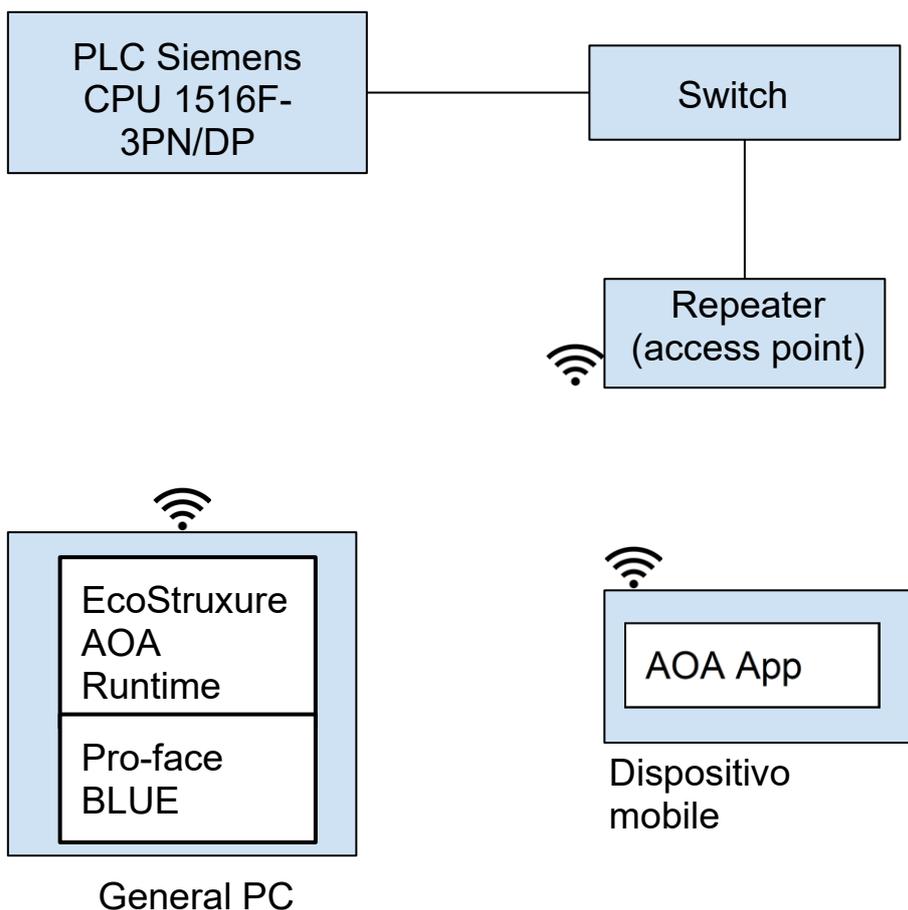
Di seguito viene presentato lo schema di questa organizzazione, dove le frecce mostrano il flusso di informazione.



[Figura 1, organizzazione logica dei componenti del sistema software.]

Tutte le componenti sopra riportate, previa installazione dei driver necessari, sono collegate alla stessa rete e, configurando opportunamente i rispettivi indirizzi IP e porte, comunicano facendo uso di protocolli TCP/IP basati su Ethernet.

Per quanto riguarda l'organizzazione fisica delle componenti hardware utilizzate per realizzare questo progetto di test, la situazione corrisponde a quanto mostrato nello schema seguente:



[Figura 2, organizzazione fisica dei componenti del sistema software; i collegamenti in figura sono realizzati tramite cavo ethernet e tutti i componenti sono collegati alla stessa rete LAN.]

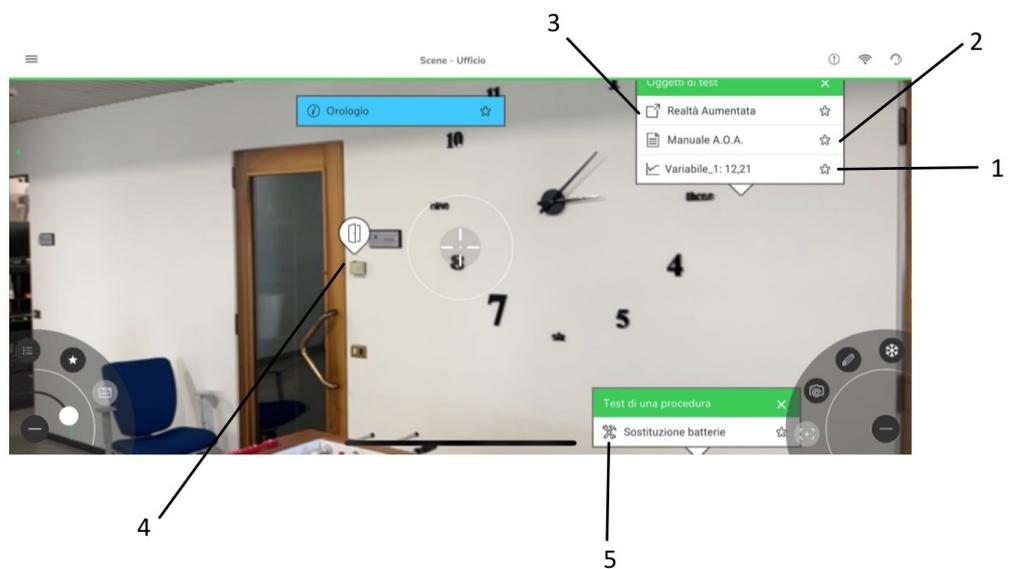
In questo particolare caso tutti i componenti sono collegati alla stessa rete, semplificando in parte la configurazione del sistema software realizzato, questa specifica tuttavia è strettamente necessaria solo per quanto riguarda la comunicazione tra Runtime e App di EcoStruxure AOA, gli altri canali di comunicazione possono essere configurati senza problemi sfruttando con accortezza le schede di rete del PC in cui sono stati installati i software.

## 2.5 Progetto di test

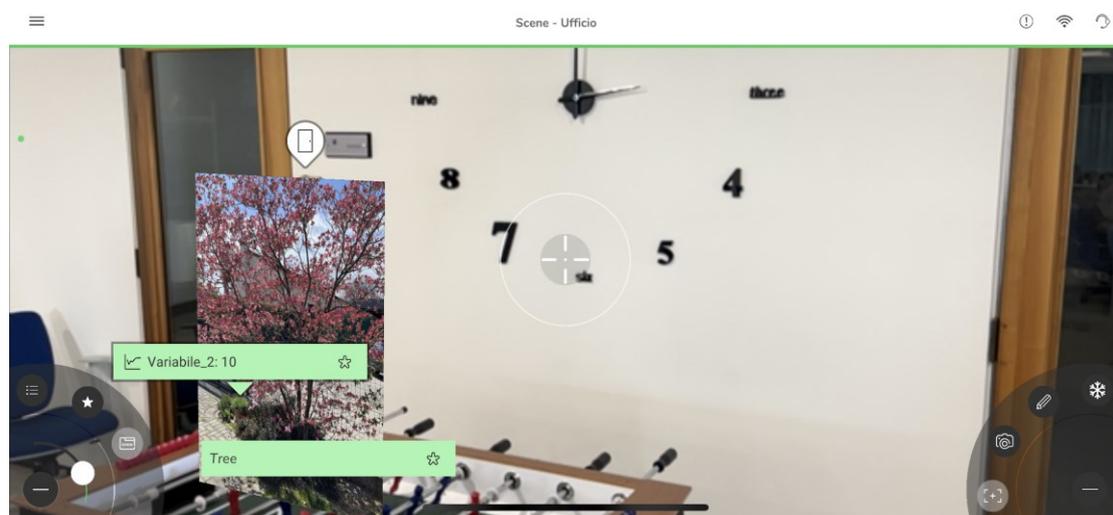
Viene presentato ora un semplice progetto di test realizzato presso la sede della società ospitante Sintex s.r.l. allo scopo di prendere familiarità con il software, capire quali funzionalità si hanno a disposizione e come usarle efficacemente, e testare la corretta comunicazione tra i moduli visti in precedenza. Tale progetto prevede l'utilizzo di un PLC Siemens SIMATIC S7 1516F-3PN/DP, nel quale è stato caricato un programma elementare, composto essenzialmente da due

Data Block, aree di memoria allocate dal programmatore, ciascuno contenente una coppia di valori reali, interi e booleani inizializzati rispettivamente ai valori 0.0, 0 e false. Tali valori sono stati poi fatti variare a piacere attraverso l'uso di un'opportuna tabella di controllo e forzamento messa a disposizione dall'ambiente di sviluppo TIA Portal di SIEMENS, ottenendo un riscontro positivo nella loro visualizzazione in AR. I dati provenienti dal PLC sono stati visualizzati, assieme ad altre informazioni ausiliarie di test, in una grafica sovrapposta ad un orologio a muro riconosciuto mediante matching planare, come mostrato in Figura 3.

Tutte le informazioni incorporate attraverso la realtà aumentata sono visualizzate in EcoStruxure AOA App tramite i cosiddetti Punti di Interesse, (indicati più brevemente con l'acronimo POI, Point Of Interest) che in fase di progettazione vengono posizionati nell'immagine utilizzata per la premarcatura dell'ambiente considerato.



[Figura 3, esempio di un overlay del progetto di test realizzato nel quale vengono evidenziati i diversi tipi di POI applicati a questa scena.]

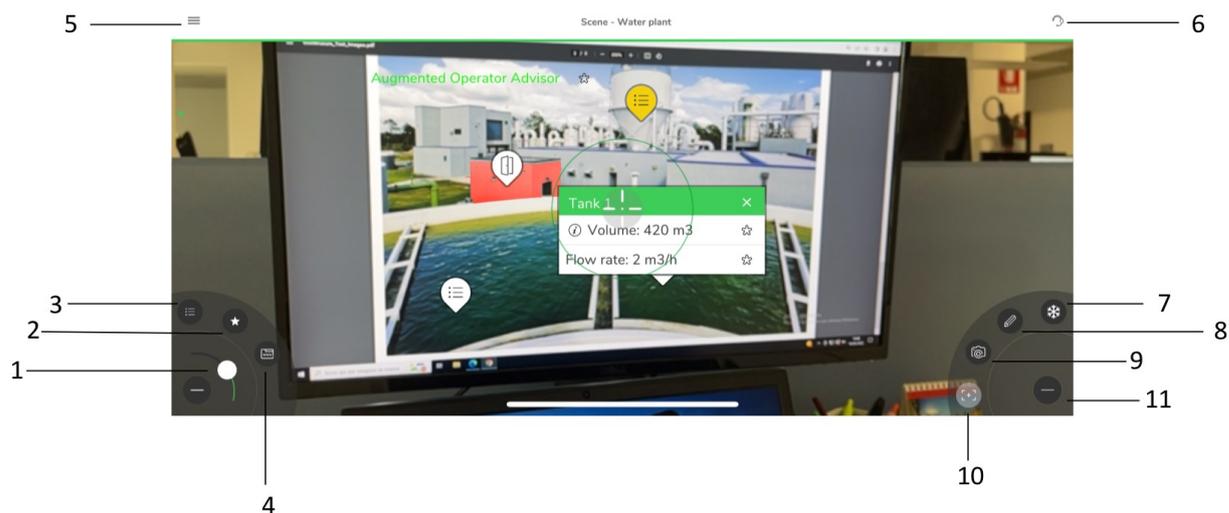


[Figura 4, toccando il POI scena secondaria si presenta la seguente situazione, come è facile osservare, la scena secondaria può essere completamente autonoma rispetto a quella principale.]

I dati che compongono il livello informativo di realtà aumentata visualizzate nell' overlay della scena in Figura 3 sono le seguenti:

- 1) POI Variabile; rappresentano dei punti in cui viene sostituito il valore in tempo reale di una variabile di processo proveniente dal software BLUE oppure da un database SQL.
- 2) POI Documento; permette la visualizzazione di documenti allegati al progetto come ad esempio manuali tecnici, indicazioni di sicurezza o schemi di cablaggio.
- 3) POI Applicazione Esterna; permette di accedere a contenuti su applicazioni esterne installate nel dispositivo come Skype o Google Maps. In alternativa è possibile anche visualizzare documenti e inviare email dall'applicazione sfruttando il browser del proprio dispositivo.
- 4) Scena Secondaria; immagine sovrapposta alla scena principale utilizzata per accedere a informazioni più dettagliate su una particolare parte della scena; può essere a sua volta dotata dei propri POI.
- 5) Procedura; descrive i passi di un particolare task e il loro ordine di esecuzione.

Si procede ora ad una descrizione dell'interfaccia utente di EcoStruxure AOA App, facendo riferimento alla Figura 5:



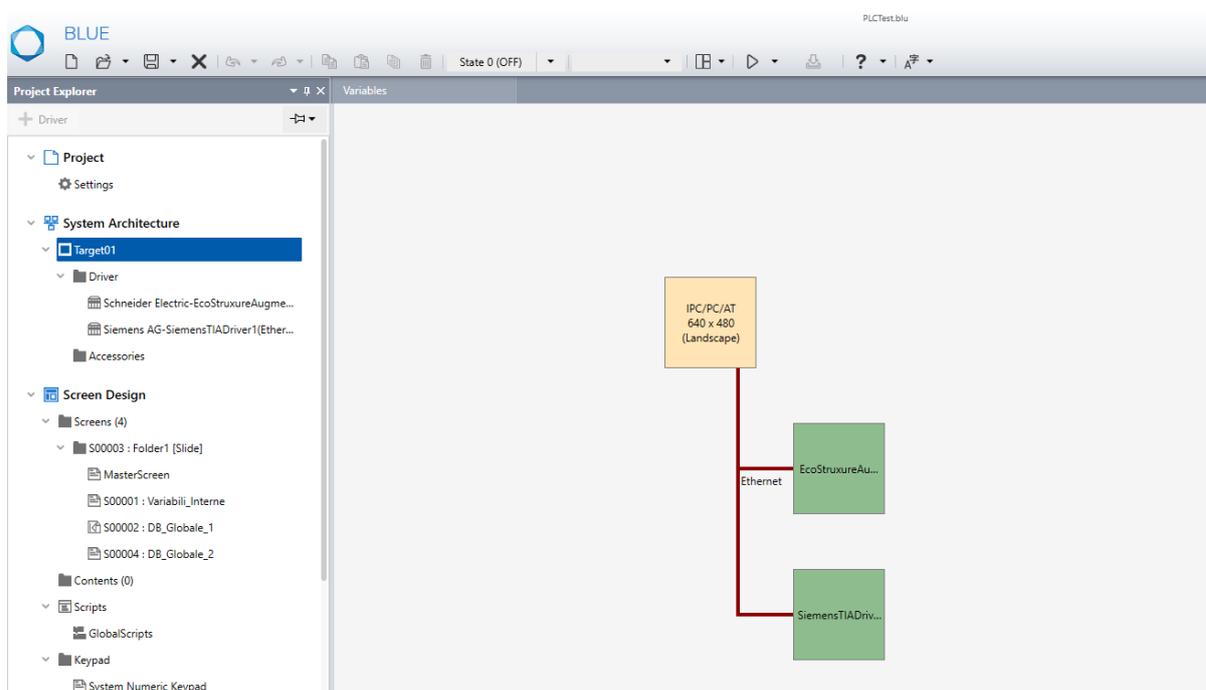
[Figura 5, visione di un progetto di esempio messo a disposizione da Schneider Electric, il matching avviene non con una situazione reale bensì con una foto visualizzata su un display esterno.]

- 1) Regolazione dimensione cerchio di puntamento; i punti di interesse all'interno del cerchio di puntamento vengono aperti automaticamente.
- 2) Preferiti; toccare per visualizzare o nascondere la barra dei Preferiti in alto sullo schermo, nella quale è possibile salvare punti di interesse rilevanti.
- 3) Elenco delle procedure e personalizzazione del punto di interesse.
- 4) Browser documento per aprire o chiudere il browser documento integrato.
- 5) Menù;
- 6) Icona Remote Assist per visualizzare l'elenco degli esperti da contattare tramite l'applicazione Dynamics 365 remote Assist. (Se quest'ultima è installata nel dispositivo.)
- 7) Blocco / Zoom; permette di bloccare la visualizzazione, consentendo di abbassare il dispositivo e continuare a vedere la scena e i punti di interesse (le azioni del progetto continuano e la barra dei Preferiti continua ad essere aggiornata). / ripristina la dimensione dell'immagine.
- 8) Nota; possibilità di aggiungere una nota alla scena consentendo, ad esempio, di lasciare indicazioni specifiche ad altri operatori.
- 9) Schermata; esegue uno screenshot della scena che viene salvato localmente e può essere allegato ad una nota.

- 10) Azione; quando la croce al centro del cerchio di puntamento è sopra un punto di interesse, toccare per avviare l'azione corrispondente.
- 11) Visualizzare / Nascondere i controlli;

Per quanto riguarda invece la progettazione dal lato Pro-face BLUE, le due fasi di interesse in questo progetto sono solamente quelle riportate qui di seguito. Innanzitutto questo software si deve comportare da “ponte” tra la sorgente delle variabili e il software di realtà aumentata con cui è realizzata l'applicazione; di conseguenza il primo passo consiste nel configurare correttamente i canali di comunicazione verso questi due moduli (mostrati in verde in Figura 6) scegliendo i driver e gli indirizzi IP opportuni.

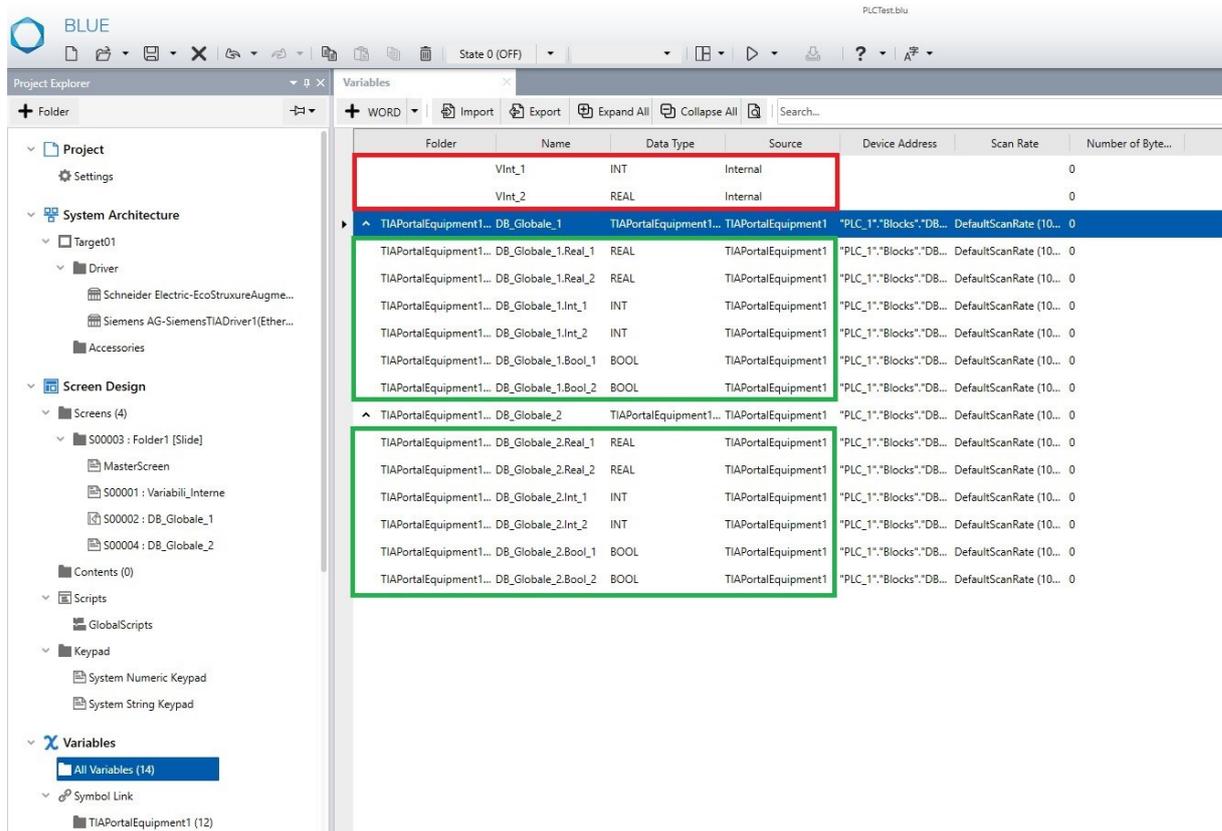
Si ottiene dunque una situazione al pari di quella mostrata in Figura 6.



[Figura 6, visione della schermata Project Explorer nel progetto realizzato con il software Pro-face BLUE, in giallo è identificato il dispositivo su cui viene visualizzata l'HMI, nel nostro caso il PC stesso su cui è installato il software BLUE.]

Dopodiché è necessario allocare l'area di memoria necessaria al PLC per poter scrivere i valori delle variabili di processo. Per fare ciò è sufficiente importare il file contenente il programma in esecuzione sul PLC in formato .ap16 (16 corrisponde alla versione di TIAPortal utilizzata in questo caso) dal quale il software provvederà ad estrarre tutte le variabili presenti nel progetto, a partire dalle quali poi si selezionano solamente quelle da visualizzare in AR. Purtroppo nella versione 3.3 di BLUE, la più recente e quella utilizzata, non è possibile selezionare le variabili di interesse prima di importare tale file, per cui in caso di progetti sufficientemente elaborati il numero di variabili importate inizialmente diventa significativo e supera facilmente il limite

massimo consentito dagli sviluppatori; questo fattore può rendere poi particolarmente laboriosa la successiva ricerca delle variabili da mantenere.



[Figura 7, visione della schermata All Variables nel progetto realizzato con il software Pro-face BLUE, sono mostrate le variabili contenute nei due DB del progetto di test, evidenziate in verde, oltre a due variabili interne rispettivamente di tipo int e real, evidenziate in rosso.]

Infine, constatato il corretto funzionamento dei moduli, sono stati fatti alcuni test valutando le risposte da parte dell'interfaccia grafica del dispositivo sul quale è stata installata l'EcoStruxure AOA App. Verifiche preliminari hanno permesso di osservare che la variazione del valore di una variabile sul PLC e la corrispondente variazione del valore sul display avvengono "contemporaneamente" in prima approssimazione e, contestualmente, è stato notato come il sistema non generi alcun errore indipendentemente dal fatto che il DB dal quale sono letti i valori di processo nel PLC sia ottimizzato o meno. La volontà di effettuare questa verifica nasce dal modo in cui avviene l'accesso ai dati memorizzati in questi DB: in un DB non ottimizzato si accede ai dati contenuti in esso per indirizzo mentre in un DB ottimizzato si accede per simboli, utilizzando cioè i nomi delle variabili.

Altri test effettuati riguardano le caratteristiche dell'algoritmo per il riconoscimento della scena implementato da Schneider Electric nell'applicazione; non avendo accesso diretto al codice, è stata valutata l'efficienza nel riconoscere un determinato ambiente sia tramite riconoscimento immagine che tramite riconoscimento tag, quindi con codice QR, e la "stabilità" della posizione

sull'interfaccia dei vari POI al variare dell'inquadratura, dopo che il match è avvenuto con successo. Le conclusioni ottenute sono state le seguenti: è possibile utilizzare il riconoscimento immagine in presenza di un ambiente rigorosamente statico, privo cioè di movimenti davanti all'obiettivo della telecamera sia da parte della macchina che da parte degli operatori, negli altri casi tuttavia viene prediletto il riconoscimento previa apposizione di tag all'apparecchiatura. Per quanto riguarda la posizione dei POI nello spazio, questi ultimi, al variare dell'inquadratura da parte dell'utente, oscillano leggermente attorno alle reali posizioni in cui erano stati posti in fase di progettazione, se viene usato il riconoscimento con tag, dal momento che il punto sullo schermo nel quale devono apparire viene calcolato in base alla loro posizione in fase di progettazione rispetto a quella del codice QR applicato; queste "oscillazioni" rimangono tuttavia accettabili nel contesto di questo progetto e non sono visibili nel momento in cui l'utente stabilisce una posizione fissa dalla quale inquadrare l'apparecchiatura.

Un ultimo insieme di prove effettuate sul software AOA riguarda la funzione relativa alle procedure (identificate di seguito anche con il termine inglese 'routine'). Una procedura è associata ad una sequenza ben definita di passi che l'operatore deve compiere per completare con successo un particolare task. Possono essere usate, ad esempio, sia per definire operazioni di manutenzione e avvio/stop della macchina o di sue componenti, sia per fornire uno strumento rivolto alla formazione di nuovo personale. Per quanto riguarda la struttura di tali routine, queste sono costituite da una sequenza di blocchi interconnessi fra loro, tra i quali sono rigorosamente presenti un blocco di start e uno di stop al fine di delimitare la procedura stessa. Esistono due tipi di blocchi configurabili:

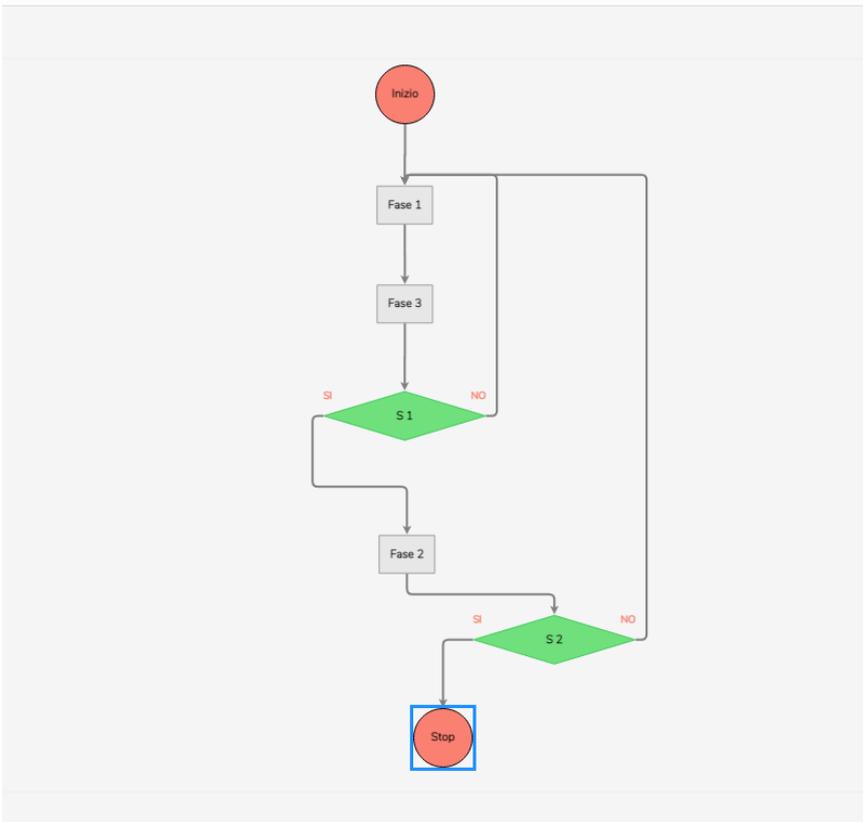
- Standard: dotati di un ingresso e un'uscita, forniscono una o più indicazioni visualizzate a schermo.
- Scelta multipla: dotati di un ingresso e due uscite, sono utilizzati per confermare o meno un preciso stato della macchina o in alternativa il corretto completamento di un passo standard.

Entrambe le tipologie di blocco possono essere accompagnate da documenti e/o immagini allo scopo di rendere più chiare le indicazioni fornite in quel preciso passo della procedura. Una volta completata, la routine costituisce poi un blocco autonomo che è possibile integrare all'interno della costruzione di altre procedure.

Al termine dell'esecuzione della routine, viene inviato un report all' AOA Manager, software ausiliario per la gestione degli utenti connessi ad una precisa rete che fanno uso di EcoStruxure

AOA App. In AOA Manager è possibile visualizzare quali passi sono stati eseguiti dall'operatore e la durata temporale di ciascun passo. Sono stati fatti dei test variando la struttura di una routine con l'obiettivo principale di progettarela in modo tale che dal report fosse possibile individuare esattamente quali passi sono stati eseguiti e quanto tempo è stato dedicato a ciascun passo. Il "problema" praticamente non si presenta nel caso di una procedura con struttura lineare, tuttavia nel caso in cui si introduca una componente ciclica attraverso un blocco la cui uscita punti all'ingresso di un blocco precedente, come mostrato in Figura 8, il software si comporta in modo diverso per quanto riguarda il resoconto trasmesso ad AOA Manager. Si ha infatti che nel momento in cui viene percorso, una o più volte, un ciclo della routine, nel report si presenta la situazione descritta qui di seguito.

Come regola di nomenclatura, si identifica come primo blocco del ciclo quello a cui punta l'uscita del passo il quale genera il ciclo stesso; in Figura 8 ad esempio il blocco "Fase 1" è il primo in entrambi i cicli che possono essere considerati. Detto ciò, nel momento in cui percorro  $n$  volte un ciclo composto da  $m$  blocchi si ha che per tutti i blocchi, ad eccezione del primo, nel report prodotto viene riportato un periodo di tempo  $\Delta t_{n,j}$  ( $j = 2,3,\dots,m$ ) pari al tempo trascorso in corrispondenza del blocco durante l'ultima iterazione del ciclo. Per quanto riguarda il primo blocco invece viene registrato il tempo  $\Delta T_1 = \Delta t_{n,1} + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^m \Delta t_{i,j}$ , che di fatto coincide con l'intero tempo di permanenza nel ciclo meno il tempo associato a tutti i blocchi eccetto il primo nel corso dell'ultima iterazione. Questa scelta fatta dagli sviluppatori di fatto non permette di valutare il tempo  $T_j = \sum_{i=1}^n \Delta t_{i,j}$  trascorso nel  $j$ -esimo blocco durante tutte le  $n$  iterazioni in cui si è ripetuto il ciclo, cosa che rende difficile, ad esempio, individuare quante volte è necessario ripetere un'operazione, quale tra le operazioni nel ciclo risulta essere quella che richiede più tempo da parte dell'operatore o anche quale operazione è stata effettuata in modo errato e ha portato a dover eseguire un'ulteriore iterazione del ciclo.



[Figura 8, routine generica, denominata “Sostituzione batterie”, implementata nel progetto di prova, vi si può accedere dal relativo punto di interesse mostrato in Figura 3, oppure dalla home page dell’applicazione una volta eseguito l’accesso, in modo da attivare la modalità formazione e poter navigare liberamente tra i blocchi della routine]

Definite le caratteristiche delle routine ed il loro comportamento generale sulla base dei test effettuati nel progetto di prova, si forniranno specifiche dettagliate riguardanti l’implementazione e l’utilizzo di queste routine applicate al caso dell’azienda Color Service s.r.l. nel capitolo successivo.

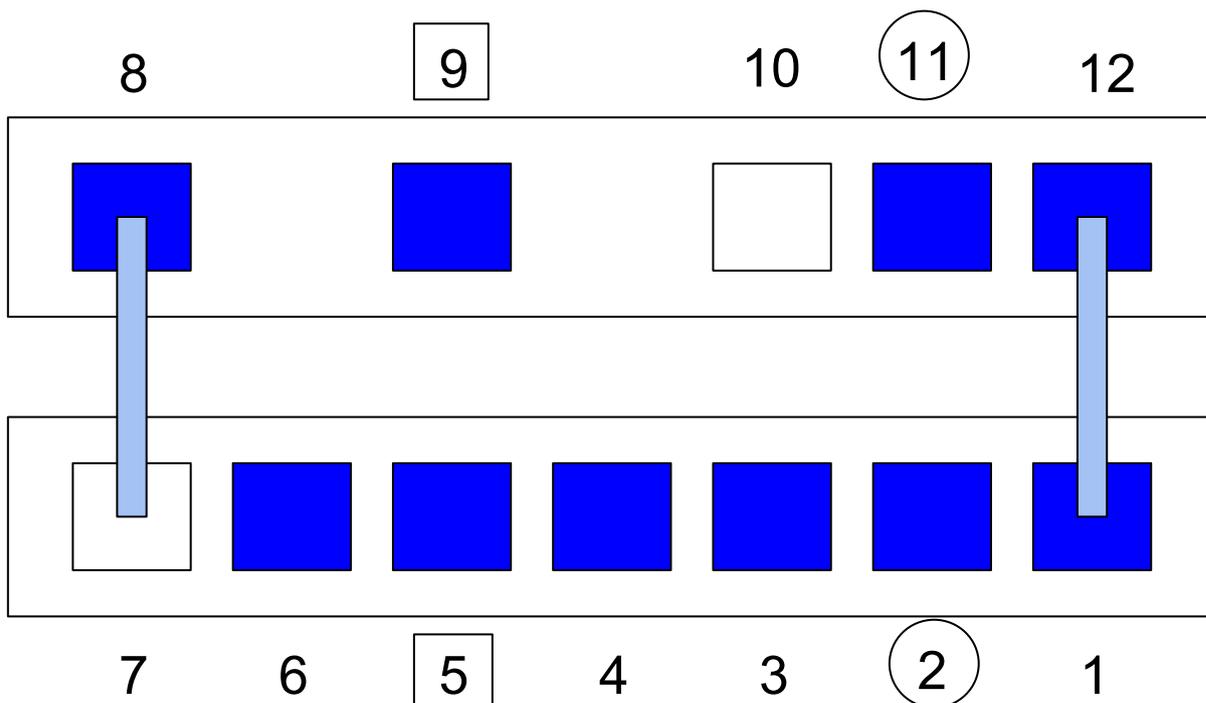
## **Capitolo 3**

Si discute ora l'applicazione realizzata, la quale consiste nell'applicazione del progetto sviluppato ad un impianto automatico di dosaggio, presso l'azienda ColorService s.r.l. In particolare il capitolo si concentra sulle scelte che sono state fatte per adattare il progetto iniziale, di carattere generale, a questa realtà e sulle motivazioni a monte di tali scelte.

### **3.1 Sistema di dosaggio automatico**

Color Service s.r.l. è un'azienda italiana specializzata nella realizzazione di sistemi di dosaggio automatici per miscele granulari, liquide o di polveri destinate all'utilizzo in diversi ambiti quali tessile, cosmetico e alimentare ma non solo. Prima impresa al mondo ad implementare un sistema di dosaggio automatico per le polveri destinate alla tintura dei tessuti, Color Service ha generato un forte interesse da parte di tutto il settore tessile nei confronti dell'automazione, attraverso impianti che hanno lo scopo di risolvere problematiche legate al dosaggio manuale di liquidi e polveri garantendo velocità, affidabilità e precisione. In particolare l'impianto esaminato in questo lavoro consiste in un prototipo destinato all'esposizione presso fiere ed eventi; questa macchina ben rappresenta un modello semplificato di un qualsiasi effettivo impianto realizzato presso questa azienda. Infatti, in generale, ciascun impianto è composto da una serie di moduli, che vengono scelti dal catalogo di Color Service e successivamente posizionati uno adiacente all'altro in base alle esigenze e alle specifiche richieste dal cliente; si tratta sostanzialmente dei "mattoncini" con i quali si realizza l'impianto complessivo. Si va perciò a costruire un percorso attraverso il quale, in modo totalmente automatico, vengono realizzati dei sacchetti contenenti la miscela desiderata sulla base della ricetta inserita nel programma che controlla l'impianto.

Il sistema di dosaggio automatico preso in considerazione, nel suo stato di idle, può essere rappresentato efficacemente dallo schema in Figura 9:



[Figura 9: modello del sistema automatico di dosaggio; comprende un totale di 10 bin, riportati in blu nello schema, e 12 stazioni numerate secondo il percorso seguito dai bin nella macchina.]

All'interno della macchina sono presenti 10 contenitori, detti bin, evidenziati in blu i quali si muovono ciclicamente lungo il percorso stabilito, costituito da due binari, nel verso specificato dagli indici riportati in figura, da 1 a 12, e hanno funzione di supporto ai sacchetti che vengono realizzati durante i cicli macchina. Gli indici rappresentano invece le 12 stazioni della macchina. Si evidenziano innanzitutto le stazioni di insacco e disinsacco (n°2 e n°11 rispettivamente); nella stazione di insacco avviene il posizionamento del sacchetto vuoto all'interno del bin, mentre nella stazione di disinsacco avviene il prelievo e la chiusura del sacchetto, riempito con l'opportuna miscela di materiali, il quale viene poi erogato all'esterno della macchina con l'ausilio di un nastro trasportatore. I sacchetti sono ricavati da un cilindro di materiale plastico, vuoto all'interno, il quale viene fuso lungo linee orizzontali da apposite barre portate ad elevata temperatura e poi tagliato lungo la stessa direzione in base alla dimensione dei sacchetti da realizzare.



[Figura 10: foto della “facciata” laterale dell’impianto dove in particolare vengono mostrate la stazione di insacco sulla parte destra e la prima stazione di dosaggio al centro costituita da un modulo di 4 silos.]

Le stazioni n° 5 e 9 costituiscono il luogo dove avviene l’erogazione del materiale nel sacchetto, ciascuna stazione è costituita da un modulo contenente da uno a quattro silo di materiale non necessariamente uguale, i quali operano però uno alla volta. Nel momento in cui un bin si ferma in corrispondenza di una di queste due stazioni, sotto di esso è presente una cella di carico che ha lo scopo di monitorare l’esecuzione del dosaggio in corso. Il dosaggio avviene grazie ad un motore principale che si occupa di muovere una vite di estrusione (Big Screw), versando la maggior parte del materiale designato nel sacchetto, dopodiché interviene un secondo meccanismo di regolazione, più preciso, per terminare la pesata arrivando al set point predeterminato. Il secondo meccanismo può essere realizzato in due modi distinti, a seconda della stazione utilizzata:

- Una seconda vite di estrusione più piccola (Little Screw) della quale si regola la velocità.
- Uno sportello/pad posizionato a valle della prima vite, del quale si regola la percentuale di apertura assieme alla velocità della prima vite.

Infine, le due strisce verticali, evidenziate in azzurro in figura 9, rappresentano due meccanismi di traslazione per trasferire i bin da un binario all’altro; mentre le rimanenti stazioni sono puramente transitorie, introdotte per regolare in modo opportuno la dinamica complessiva dell’impianto. Trattandosi di una macchina destinata all’esposizione, durante l’esperienza di tirocinio è stata purtroppo messa in funzione una sola volta ed in uno stato incompleto a causa

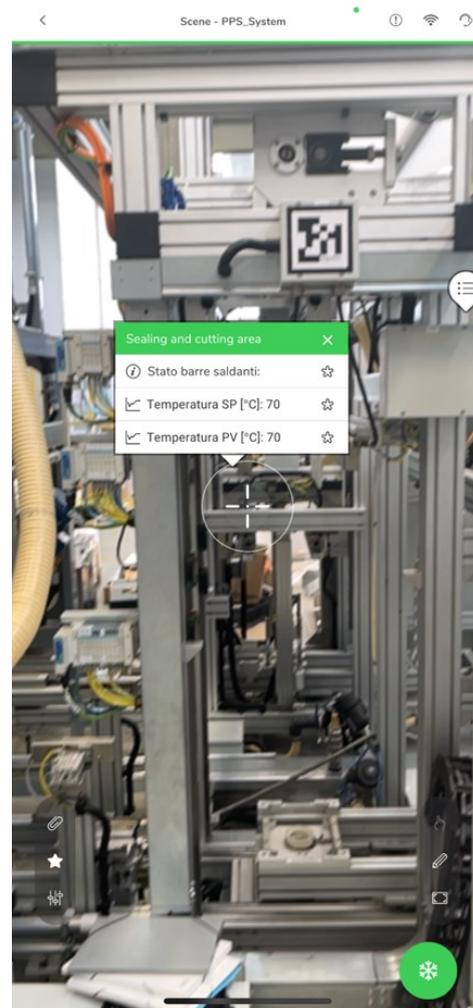
della mancanza di componenti meccaniche ed elettroniche, come ad esempio pannelli di controllo o la seconda stazione di dosaggio. Fortunatamente, la piena funzionalità della macchina non è strettamente necessaria per l'esecuzione corretta del sistema software sviluppato che, in corrispondenza dei test finali, di fatto ha monitorato un impianto fermo. Di conseguenza, per cause di natura economica e commerciale, i risultati ed i test effettuati sul campo faranno riferimento a condizione di macchina ferma e/o simulazioni; è stato infatti possibile simulare la parte di interesse del codice nel PLC, fornendo parametri appositi e, collegandosi a quest'ultimo direttamente tramite cavo ethernet, monitorare le corrispondenti variazioni e verificare il comportamento della logica implementata tramite AOA App su smartphone.

## 3.2 Messa in servizio

Per quanto riguarda la messa in servizio, limitata dai fattori descritti nel paragrafo precedente, sono stati discussi inizialmente dei possibili interessi di Color Service nei confronti di questa applicazione. Sono state stabilite le informazioni da visualizzare in AR ed è stato presentato il funzionamento dell'impianto, evidenziando i nodi fondamentali nel suo ciclo di funzionamento. La struttura del sistema software risulta uguale a quanto descritto nel paragrafo 2.4, con l'eccezione del collegamento tra PLC e general PC realizzato tramite cavo ethernet. Sono state individuate a questo punto 3 stazioni fondamentali per monitorare il ciclo di funzionamento dell'impianto:

- Insacco (stazione 2);
- Disinsacco (stazione 11);
- SAM Silos (stazione di dosaggio n°5);

A ciascuna di queste stazioni corrisponde una scena configurata appositamente all'interno del software AOA. Visto lo stato incompleto dal punto di vista meccanico dell'impianto, la sua posizione non definitiva e l'elevato numero di componenti distinti presenti nelle immagini campione raccolte, è stato scelto di utilizzare per tutte queste scene il riconoscimento tramite tag. Sono stati perciò applicati dei codici QR nelle parti di interesse dell'impianto, dimensionati adeguatamente, in modo tale che il riconoscimento delle scene risulti indipendente da elementi variabili nelle stesse; viene in questo modo garantito il fatto che, se la macchina viene spostata in un ambiente diverso e/o se vengono sostituite alcune delle sue componenti meccaniche il riconoscimento avviene senza il bisogno di effettuare modifiche nel software. Si ricorda comunque che tutte le informazioni implementate in AR fanno riferimento ad aspetti chiave del funzionamento dell'impianto e rimangono coerenti anche nel caso in cui dovesse cambiare la natura del



[Figura 11, esempio di interfaccia visualizzata da smartphone presso la stazione di insacco in fase di simulazione]

componente meccanico che le realizza (esempio: passare da una stazione di erogazione ad un silo ad una dotata di quattro silos).

Per ciascuna di queste stazioni è stata inserita la possibilità di consultare dal menù dell'applicazione l'apposito manuale fornito da Color Service e, dove necessario, sono state mostrate sul display del tablet alcune delle condizioni da mantenere per il funzionamento in sicurezza della macchina come ad esempio temperatura e umidità dell'ambiente circostante o indicazioni su eventuali dispositivi di sicurezza da indossare tramite apposito segnale ricavato dal manuale.

Le stazioni di insacco e disinsacco presentano entrambe la possibilità di monitorare la temperatura attuale, rispetto al setpoint impostato, delle barre saldanti che si occupano della realizzazione e chiusura dei sacchetti. La stazione di disinsacco presenta poi due ulteriori POI: anzitutto la possibilità di avviare una procedura guidata per il riposizionamento manuale del sacchetto; può infatti capitare che le pinze usate per prelevare il sacchetto dal bin non riescano ad agganciarlo. In questo caso la macchina si arresta e il PLC produce un messaggio di errore. A questo punto, per riprendere il funzionamento è necessario inviare il comando "try again" dal front-end dell'impianto dopo aver riposizionato manualmente il sacchetto; in questa fase si può usufruire di AOA per avere una procedura guidata per l'esecuzione di questa operazione anche da parte di addetti che hanno poca familiarità con l'impianto.

Il secondo POI di interesse monitora invece il tempo di permanenza di un sacchetto nel ciclo macchina, da quando viene realizzato nella stazione di insacco fino all'istante in cui arriva nella stazione di disinsacco. Tale intervallo di tempo non è però presente come parametro nel PLC, di conseguenza la soluzione adottata è stata quella di inserire della logica apposita nel codice del file realizzato con Pro-face BLUE, realizzando un'apposita variabile da visualizzare poi in AR. Nel codice presente all'interno del PLC viene assegnato un indice (numero intero positivo) a ciascun sacchetto al momento dell'insacco; leggendo allora l'indice in corrispondenza della stazione di insacco e registrando l'istante in cui questo si presenta nella stazione di disinsacco è possibile ricavare l'intervallo di tempo  $\Delta t$  cercato. In modo analogo per insacco e disinsacco, il parametro che viene letto assume il valore dell'indice opportuno quando il sacchetto si trova in quella stazione, dopodiché vi è un transitorio temporale nel quale assume valore zero, a testimonianza del passaggio da una stazione ad un'altra. Tale comportamento è perciò assimilabile ad un segnale di onda quadra caratterizzato da impulsi di durata variabile e ampiezza data dall'indice del sacchetto. Questo modello risulta utile per la descrizione del

codice implementato in quanto i fronti di salita di questo segnale corrispondono ad alcune delle condizioni di trigger utilizzate [When value x change then do...].

Tale logica è stata implementata sfruttando il meccanismo di programmazione a blocchi messo a disposizione da Pro-face BLUE e si riporta di seguito il semplice pseudocodice implementato:

```
c = array di 10 interi;
```

```
For i = 1 to 10 do every sec:  
    c[i] += 1;
```

```
A = array di coppie di interi (Bag,Index_Time); i,j = 0; i,j =< 9;
```

```
When ValueChange [2].BagIndex != 0 do  
    A[i].Bag = [2].BagIndex;  
    A[i].Index_Time = i;  
    c[i] = 0;  
    i += 1;
```

```
When ValueChange [11].BagIndex != 0 do  
    If Control = True  
        If A[j].Bag == [11].BagIndex  
            Final_Value = c[A[j].Index_Time];  
            j += 1;  
            Control = False  
        else j = 0;  
    else Final_Value = c[A[j].Index_Time]; j+=1;
```

Il codice viene messo in esecuzione al momento dell'avvio del sistema e rimane "attivo" fino allo spegnimento dello stesso, cioè in grado di ricevere eventuali segnali di trigger che danno inizio all'esecuzione delle sue parti. Il primo blocco consiste in un buon esempio di ciò, infatti vengono inizializzati 10 contatori, i quali consistono in altrettanti numeri interi che a partire da 0, vengono incrementati di 1 ad ogni secondo, fintanto che il sistema software è operativo. Il secondo blocco viene eseguito in corrispondenza di un fronte di salita dell'onda quadra nella stazione di insacco; si registrano nell'array A l'indice del sacchetto e l'indice del contatore corrispondente, inizializzando contemporaneamente quest'ultimo al valore zero. Nel terzo e ultimo blocco il trigger è ancora una volta il fronte di salita dell'onda quadra riferita però alla stazione di disinsacco; Viene effettuato un primo controllo tramite il valore booleano 'Control': se è True significa che il primo sacchetto dell'ordine deve ancora arrivare alla stazione di disinsacco. Dopodiché si procede a confrontare l'indice del sacchetto arrivato (il quale potrebbe essere anche un sacchetto vuoto residuo) con il primo elemento memorizzato nell'array A;

se il confronto è positivo viene mostrato il valore del contatore corrispondente e si aggiornano gli indici di conseguenza, in quanto significa che la macchina è entrata a regime ed i sacchetti successivi arrivano nella stazione di disinsacco secondo l'ordine registrato nell'array A. Si può notare come gli indici usati per accedere all'array A abbiano un comportamento ciclico, con ciò si intende che una volta raggiunto il valore massimo, impostato pari a 9 in questo particolare caso, il successivo incremento porta l'indice ad assumere valore 0, permettendo così di usare efficacemente l'array senza introdurre altre righe di codice. Final\_Value è infine il valore che viene presentato nell'interfaccia AR, espresso nel formato [minuti : secondi] con una semplice conversione e difatti viene aggiornato correttamente ad ogni fronte di salita del segnale.

Per quanto riguarda la stazione di dosaggio è stato adottato un modulo a quattro silo, i quali però entrano in funzione solamente uno alla volta di conseguenza, i parametri di questa scena visualizzati sul tablet fanno riferimento al silo attivo, riducendo il numero di elementi presenti a schermo che potrebbero risultare eccessivi e causare disturbo e/o distrazione all'utilizzatore. Di particolare interesse in questa stazione è stato il peso real-time registrato dalla cella di carico rispetto al setpoint registrato, monitorando così la quantità di materiale erogata dal silo attivo, e le velocità legate alle viti di erogazione, principale e secondarie, di quel particolare silo. In relazione a queste velocità è stato inserito in AOA anche un allarme nel caso in cui si superasse la soglia limite dei 100 Hz, evidenziando la variabile in questione.

## Capitolo 4

Il capitolo finale di questo lavoro riassume brevemente gli obiettivi prefissati e ha la funzione di descrivere le conclusioni ottenute durante il periodo di tirocinio nonché di proporre alcune soluzioni e ottimizzazioni allo scopo di portare avanti lo sviluppo di applicazioni AR in ambito industriale.

### 4.1 Risultati tecnici

Lo scopo principale di questo progetto consiste in un'attività di valutazione; si vuole infatti studiare "il comportamento" della realtà aumentata quando viene utilizzata sia per dialogare con un sistema automatico che governa un impianto industriale, sia con l'operatore responsabile di tale impianto. Per quanto riguarda quest'ultimo aspetto, che consiste nella vera e propria applicabilità dell'AR, è purtroppo mancata l'opportunità di studio, per le motivazioni citate nel capitolo precedente. L'obiettivo futuro rimane perciò quello di poter consegnare ad un'azienda questo sistema software integrato in un impianto operativo, per utilizzare al meglio le possibilità che offre la realtà aumentata citate nel paragrafo 1.4, in modo tale da raccogliere feedback attraverso i quali poter poi fare delle scelte future sul fronte AR tramite un processo di perfezionamento.

Per quanto riguarda invece i risultati legati all'interfaccia del sistema con il PLC è stato possibile raccogliere risultati validi e soprattutto utili anche in condizioni di impianto fermo. I risultati discussi qui di seguito trattano in particolare della capacità dei software utilizzati nell'implementare una soluzione di AR e delle modalità con cui sfruttare al meglio un sistema software di questo tipo.

Il software AOA, già progettato per applicazioni di automazione industriale, si presenta come un buon prodotto capace di integrare efficacemente la realtà aumentata in un numero elevato di situazioni e ambienti; un punto a favore è sicuramente il solido riconoscimento della scena tramite Tag, senza tralasciare l'alternativa di riconoscimento immagine senza marker, la quale però risulta applicabile in un limitato numero di situazioni; è necessaria in particolare una scena stabile dal punto di vista ambientale, dotata di pochi elementi distinti e peculiari alla scena stessa. AOA è inoltre user-friendly; comunica le informazioni in maniera chiara e diretta, a patto che vengano rispettati determinati criteri in fase di progettazione del sistema. Non lo si deve infatti intendere come sostituzione di un eventuale front-end e/o pannello operatore; non è possibile inserire tutte le informazioni e i dati monitorati dell'impianto e sicuramente non è uno strumento pensato per funzioni di controllo. Bisogna scegliere con cura il layout

dell'interfaccia AR in fase di progettazione, in modo che l'interfaccia risulti intuitiva e funzionale, fornendo supporto a chi non è familiare con la macchina, ma non solo. Dal punto di vista tecnico alcune modifiche del software sono consigliate ma non strettamente necessarie; innanzitutto sarebbe positivo un miglioramento nella struttura di progettazione dei trigger relativi ai vari POI. Si parla del meccanismo con cui, in generale, al verificarsi di determinate condizioni avvengono dei cambiamenti nel layout visualizzato sul display; la gestione delle priorità tra le condizioni definite può essere migliorata così come può essere creata la possibilità di inserire condizioni logiche complesse, in quanto ora il limite è di un solo confronto (and, or, !=, ==,....) per condizione. In ogni caso lo strumento permette di creare trigger non elementari progettandoli opportunamente, ma non in modo diretto. Ultimo aspetto positivo di questo software, ma non meno importante, è rappresentato dall'efficace supporto tecnico fornito da Schneider durante lo sviluppo di questo sistema, a prova anche dell'interesse dei produttori nei confronti di questa realtà.

I miglioramenti più rilevanti riguardano però il software Pro-face BLUE; tale software nasce certamente destinato alla progettazione di HMI, quindi è orientato maggiormente verso questa realtà, tuttavia viene proposto contemporaneamente come valida soluzione per un sistema di AR e, per questo motivo, alcune caratteristiche osservate non sono state soddisfacenti. Si ricorda comunque che in questo lavoro è stata utilizzata la versione 3.3 Hotfix 1 del software e perciò alcuni cambiamenti potrebbero essere stati introdotti con versioni successive. La scelta di questo software è legata all'ottica iniziale di un progetto caratterizzato da sorgenti di dati multiple, non da un solo PLC, nel qual caso una futura alternativa potrebbe essere il software EcoStruxure Operator Terminal Expert (OTE) prodotto sempre da Schneider Electric. Proface BLUE ha un'importante limitazione nel modo in cui legge i dati presenti all'interno del PLC. Anzitutto, è necessario dire che il massimo numero di variabili possibili all'interno di un file realizzato con BLUE è pari a  $32768 (= 2^{15})$  mentre il codice di un solo PLC realizzato tramite TIA Portal (l'ambiente di sviluppo di Siemens), per un impianto industriale ne contiene facilmente oltre 120000; chiaramente non è necessario utilizzare tutti i dati presenti nel PLC, ma nel caso in cui si voglia realizzare un progetto più dettagliato, oppure su più vasta scala, è chiaro che ci si scontra inevitabilmente con questa limitazione.

Il canale di comunicazione tra il PLC e BLUE è realizzato tramite un apposito driver proprietario di Schneider Electric, vincolato dal fatto di lavorare con un PLC Siemens della serie 1500. La struttura logica tra PLC e BLUE, di tipo Client – Server, implica che sia quest'ultimo a leggere e/o scrivere nel PLC in un'ottica funzionale equivalente a quella di un pannello. Con queste premesse l'unico strumento messo a disposizione che permette a BLUE

di sapere cosa è presente all'interno del PLC è chiamato Symbol Link. Tale strumento costruisce un insieme di variabili le quali hanno un collegamento biunivoco con i dati presenti all'interno del PLC. Questo viene realizzato sfruttando il file .ap\*\* generato con TIA Portal (\*\* corrisponde alla versione di TIA Portal utilizzata, 16 in questo caso), e i nomi delle variabili così ottenute, che corrispondono agli indirizzi dei dati a cui BLUE punta all'interno del PLC, non possono essere modificati a posteriori. A questo punto le osservazioni da fare sono due:

1. Il Symbol Link genera una variabile per ogni dato presente nel PLC, senza dare la possibilità di scegliere; questo viene inteso come possibilità di mantenere facilmente aggiornato il progetto BLUE nel caso vengano fatte modifiche all'interno del PLC, tuttavia così facendo si supera facilmente il limite di variabili imposto da BLUE e di conseguenza per rendere eseguibile quest'ultimo si devono cancellare le variabili in eccesso, andando contro la logica dello strumento stesso.
2. BLUE non permette l'utilizzo di nomi che iniziano con un numero (es: 02\_Sintex). Utilizzando il file .ap16 per creare gli indirizzi a cui puntano le variabili, Proface Blue ne utilizza la struttura di folder. Ciò implica che nel progetto caricato all'interno del PLC non ci debbano essere nomi che iniziano con un numero. Si impone perciò un vincolo su un codice che dovrebbe risultare indipendente da questo sistema; si ricordi poi il seguente fatto: il PLC non utilizza in alcun modo la struttura di folder del progetto TIA Portal, questo perché ciascun blocco di programma è univoco e su questo si basa l'organizzazione e l'esecuzione del codice che definisce l'automazione dell'impianto.

Ne segue perciò che l'utilizzo di Proface BLUE sia adeguato per progetti fino ad un certo livello di complessità e sicuramente se ne sconsiglia l'uso nel caso in cui la sorgente di dati sia un solo PLC. Ciò non toglie che nell'eventualità di futuri miglioramenti da parte di Schneider e/o nel caso in cui si scelga di adottare una diversa sorgente dati o collegamento (esempio: OPC UA) si riveli una soluzione adeguata.

## **4.2 Osservazioni finali.**

Portando ora l'attenzione verso caratteri più generali e qualitativi, è stato osservato che l'efficacia e l'utilizzo del sistema software sviluppato dipendono dall'ambiente in cui è implementato; risulta più vantaggioso in qualità di "supervisore" nel momento in cui viene abbinato ad impianti di dimensioni considerevoli, capaci di estendersi su 2 o più edifici diversi, dove perciò non è disponibile un pannello lungo ogni punto dell'impianto. Oltre a garantire in questo senso comodità e velocità nel reperire informazioni utili, risulta efficace nel momento in cui un addetto con poca familiarità debba interfacciarsi con l'impianto stesso o debba

accedere a sue parti irraggiungibili fisicamente. Nel caso di una situazione come quella proposta presso Color Service, si ha a che fare con un impianto di dimensioni ridotte con un ambiente circostante variabile. Un'applicazione di AR assumerà allora valore in qualità di "accessorio", permettendo maggiore interattività con l'impianto ed esprimendo l'interesse nell'investire in tecnologie innovative con conseguenti maggiori possibilità di attrarre nuovi clienti.

Come conclusione di questo lavoro di tesi si vuole perciò affermare che la realtà aumentata si è dimostrata uno strumento che può sicuramente essere integrato all'automazione industriale come parte integrante di un sistema capace di rendere più efficace e fruttuosa un'attività. È sicuramente un campo che richiede ancora una sufficiente dose di lavoro e investimenti ma si prospetta senza dubbio interessante.

## **Glossario**

S.C.A.D.A. (Supervisory Control And Data Acquisition) = Sistema di controllo distribuito con lo scopo di unificare le operazioni di controllo ad alto livello degli impianti industriali in un unico sistema che permetta agevolmente l'interazione con operatori umani. Consente la supervisione dell'impianto mettendo a disposizione dell'operatore funzioni ausiliarie e dati provenienti dall'impianto. Il sistema solitamente è costituito da un database contenente i valori attuali delle grandezze di interesse nella gestione dell'impianto, dispositivi di controllo per l'acquisizione di dati e un'opportuna interfaccia uomo-macchina.

Driver = sottoprogramma che gestisce l'input e l'output di una periferica dialogando attraverso un'interfaccia, la quale astrae dall'implementazione dell'hardware e ne considera solo il funzionamento logico. In questo modo è possibile utilizzare periferiche costruite da produttori diversi.

Indirizzo IP = sequenza di numeri o di caratteri alfabetici che permette di individuare un elaboratore connesso in rete, indispensabile sia per ricevere sia per inviare dati. Si distinguono gli indirizzi IP pubblici e privati, i primi assegnati a macchine presenti su Internet, i secondi riservati alle reti locali (LAN, Local area network).

Switch = si tratta di hardware che collega fra loro altri dispositivi in una rete, gestisce il flusso dati trasmettendo un pacchetto ricevuto solamente ad uno o più dispositivi a cui è destinato. i destinatari vengono individuati inviando in modo sequenziale un pacchetto di dati apposito per stabilire la comunicazione.

Scheda di rete = interfaccia digitale costituita da una scheda elettronica che svolge tutte le funzionalità logiche di elaborazione necessarie a consentire la connessione del dispositivo ad una rete informatica e la conseguente trasmissione e ricezione di dati.

SQL = Structured Query Language, linguaggio standardizzato per database, utilizzato per accedere e gestire i dati memorizzati, per definire la struttura e l'organizzazione stessa del database nonché per creare gli strumenti di controllo e accesso a tali dati.

OPC UA (Unified Architecture) = standard per lo scambio di dati multiplatforma sviluppato dalla OPC Foundation, consorzio che crea e mantiene standard per la connettività tra sistemi di automazione industriale.

TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) = ambiente di progettazione per lo sviluppo di software di automazione che sfruttano prodotti Siemens della serie SIMATIC.

[Caudell, T. P., & Mizell, D.W. (1992, January 7–10). Augmented reality: An application of head-up display technology to manual manufacturing processes, research. & technology, Boeing Computer Services, Seattle, WA, USA, System Sciences, 1992]

## **Bibliografia**

[1] Michael E. Porter, James Heppelmann, Harvard Business Review, Guido Jouret, Gardiner Morse, "A Manager's Guide to Augmented Reality". Harvard Business Review - 2017.

[2] Caudell, T. P., & Mizell, D.W. (1992, January 7–10). Augmented reality: An application of head-up display technology to manual manufacturing processes, research. & technology, Boeing Computer Services, Seattle, WA, USA, System Sciences, 1992