



UNIVERSITÀ DI PISA

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'ENERGIA DEI SISTEMI  
DEL TERRITORIO E DELLE COSTRUZIONI**

**RELAZIONE PER IL CONSEGUIMENTO DELLA  
LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA GESTIONALE**

***Analisi di un sistema smart per la gestione della  
sicurezza degli operatori in ambienti di lavoro con  
macchine mobili operatrici comandate a distanza***

**SINTESI**

---

**RELATORI**

Prof. Marcello Braglia  
*Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale*

Prof. Roberto Gabbrielli  
*Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale*

Dott. Marco Picchi Scardaoni  
*Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale*

**IL CANDIDATO**

Giacomo Della Santa  
g.dellasanta1@studenti.unipi.it

Sessione di Laurea Magistrale del 28/04/2021

# **Analisi di un sistema smart per la gestione della sicurezza degli operatori in ambienti di lavoro con macchine mobili operatrici comandate a distanza**

**Giacomo Della Santa**

---

## **Sommario**

L'utilizzo di Macchine Mobili Operatrici Comandate da Remoto rappresenta una condizione di lavoro sicura per gli addetti alla guida in cantieri agricoli e forestali. Tuttavia, il comando da remoto delle macchine fa scaturire nuovi rischi che devono essere opportunamente gestiti. All'interno del paradigma Industria 4.0 e in risposta al bando di ricerca BRiC 34 patrocinato da INAIL, è stato definito un Sistema di Sicurezza Smart (SMARTGRID) in grado, in caso di pericolo, di attivare i dispositivi smart di allarme individuale con cui sono equipaggiati i lavoratori e di disattivare i movimenti di macchine e attrezzature, con l'obiettivo di prevenire incidenti e collisioni. Lo scopo di questa tesi è duplice. Da un lato, è stata realizzata un'analisi dello stato dell'arte delle Macchine Mobili Operatrici Comandate da Remoto, dei Dispositivi Smart e Wearable e delle Tecnologie di Rilevamento Ostacoli in ambienti Outdoor. Dall'altro lato, a partire dallo stato dell'arte, sono state definiti i requisiti, le procedure e le logiche di funzionamento del Sistema, necessarie per gestire la sicurezza di macchine e persone.

## **Abstract**

On agricultural and forestry sites, the use of remote-control machinery represents a safe working condition for drivers. However, these machines trigger new risks that must be properly managed. Within the Industry 4.0 paradigm and in response to the BRiC 34 call issued by INAIL, a Smart Safety System (SMARTGRID) has been conceptualised in this thesis. In case of recognised unsafe condition, the system can activate the smart individual alarm devices the workers are equipped with and neutralise the movements of the machines, so to prevent accidents and collisions. The purpose of this thesis is twofold. On the one hand, an analysis of the state of the art of Remote-control Machinery, Smart and Wearable Devices, and Obstacle Detection Technologies in Outdoor environments has been carried out. On the other hand, starting from the state of the art, requirements, procedures and operating logics of the System have been defined and presented.

## **1. Introduzione**

### **1.1 Descrizione del problema e del progetto di ricerca**

I cantieri industriali agricoli e forestali sono ambienti lavorativi pericolosi, con frequente accadimento di incidenti e collisioni tra macchine e persone. L'utilizzo di Macchine Mobili Operatrici Comandate da Remoto (MMOCR) in questi settori è sempre più diffuso, in quanto la guida a distanza rappresenta, di per sé, una condizione di lavoro sicura per gli operatori addetti alla guida. Tuttavia, il comando da remoto delle macchine, in un contesto operativo accidentato e caratterizzato dalla presenza di ostacoli, fa scaturire nuovi rischi che devono essere opportunamente gestiti. Il lavoro di Tesi è incentrato sulle attività relative al progetto "Sistema smart per la gestione della sicurezza degli operatori in ambienti di lavoro con macchine mobili operatrici comandate a distanza (SMARTGRID)", patrocinato da INAIL, che si pone l'obiettivo di studiare e implementare un sistema di sicurezza per gestire il rischio interferenza tra operatori e macchine, esplorando le soluzioni tecnologiche relative al paradigma Industria 4.0, che si stanno sviluppando negli ultimi anni.

### **1.2 Obiettivi operativi**

L'elaborato di Tesi si concentra sul primo obiettivo operativo del progetto: "Analisi dei requisiti del sistema e sviluppo concettuale del sistema smart per la gestione della sicurezza della rete di macchine mobili comandate a distanza ed operatori", che si concretizza nei seguenti punti:

- Inquadramento delle MMOCR agricole e forestali disponibili sul mercato.
- Analisi dello stato dell'arte delle tecnologie di rilevamento ostacoli in ambienti outdoor.
- Definizione dei requisiti del sistema da sviluppare e delle sue modalità di funzionamento.
- Definizione delle procedure e delle logiche per mettere in sicurezza le macchine.

## **2. Inquadramento delle Macchine Mobili Operatrici Comandate da Remoto**

### **2.1 Caratteristiche generali**

Le MMOCR agricole e forestali rientrano nella classificazione di macchine operatrici semoventi. Commercialmente, vengono identificate con il termine "porta-attrezzi radiocomandate", facendo riferimento alle due caratteristiche principali:

- Porta-attrezzi. Si tratta di veicoli motorizzati, configurabili tramite il montaggio di attrezzature, per svolgere numerose funzioni.
- Radiocomandata. La comunicazione tra operatore e macchina avviene tramite un radiocomando. Il principio di funzionamento si basa su due dispositivi: l'unità trasmittente (radiocomando), e l'unità ricevente, installata a bordo macchina.

Le porta-attrezzi radiocomandate sono macchine di varia dimensione e potenza, progettate

per lavorare anche in condizioni estreme. In particolare, queste macchine sono pensate per lavorare su terreni sconnessi e accidentati e su terreni in pendenza. Il campo di applicazione principale è rappresentato da



Figura 1 Esempio di porta-attrezzi radiocomandata

lavorazioni forestali, lavorazioni boschive e lavori di agricoltura

professionale. Un esempio di porta-attrezzi radiocomandata (Robocut prodotta da Bomford Turner) è riportato in [Figura 1](#).

## 2.2 Funzioni di sicurezza implementate dai costruttori e pericoli associati alla guida a distanza in cantieri agricoli e forestali

I cantieri agricoli e forestali sono caratterizzati da un piano di calpestio non preparato e accidentato (con pendii, dislivelli, fossati, alberi e vegetazione fitta) e dalla presenza di ostacoli di varia natura, come operatori, macchine e zone ad accesso non consentito. La classificazione degli ostacoli e la determinazione delle condizioni di funzionamento delle macchine hanno consentito di individuare i pericoli associati all'utilizzo di MMOCR in questi scenari operativi. Utilizzando come linea guida la UNI EN ISO 12100:2010 – Sicurezza del macchinario – Principi generali di progettazione – Valutazione del rischio e riduzione del rischio, sono stati determinati i limiti d'uso di queste macchine (anche tramite la consultazione di alcuni manuali d'uso forniti dai costruttori), sono state individuate le condizioni di uso corretto e si è cercato di definire i pericoli associati alla guida di queste macchine in un cantiere all'aperto, analizzando le condizioni operative legate ad un uso scorretto ragionevolmente prevedibile. Infine, considerando le funzioni di sicurezza

implementate sulle macchine dai costruttori, si sono valutate le soluzioni gestionali e tecnologiche mirate ad eliminare le situazioni di rischio residuo. I dispositivi di sicurezza previsti servono da soluzione per ridurre il danno derivante dall'accadimento di situazioni di pericolo, come i roll-bar e i paraurti che fungono da protezione in caso di urto, ma non sono accorgimenti progettati con l'intento di prevenire questi pericoli o ridurre la probabilità del rischio che si verifichino. Più nello specifico, riferendoci al rischio di urto e investimento, i costruttori delle macchine non prevedono sistemi di avvertimento del pilota o degli altri operatori in caso di avvicinamento della macchina ad ostacoli e, nel complesso, non sono presenti sistemi di monitoraggio e rilevazione di ostacoli nell'area di lavoro. Il pilota può intervenire solo nel caso in cui si renda conto dell'imminenza di un'interazione pericolosa, agendo sul pulsante d'emergenza del radiocomando che attiva la funzione di arresto di emergenza.

### **3. Analisi dello Stato dell'Arte dei Dispositivi Intelligenti e Indossabili e delle Tecnologie di Rilevamento Ostacoli**

#### **3.1 Sistema di Sicurezza Smart per la Gestione del Rischio Interferenza: Generalità**

Un sistema di sicurezza in grado di gestire i rischi da interferenza, in un cantiere industriale all'aperto, necessita di una serie di tecnologie wireless e dispositivi smart per mettere in comunicazione, in tempo reale, tutti gli elementi dello scenario operativo. In linea generale, il principio utilizzato per ridurre la probabilità di incidenti è quello di localizzare la posizione di operatori e macchine all'interno del sito di lavoro e di monitorarne e misurarne la distanza reciproca, tramite opportune tecnologie di localizzazione e rilevamento, e di segnalare situazioni di pericolo, tramite opportuni attuatori e allarmi, a operatori e addetti alla guida dei macchinari, siano essi con guida a bordo o comandati da remoto.

Un PWS (Proximity Warning System) è un sistema di allarme acustico, visivo e/o vibrazionale che utilizza una tecnologia di rilevamento per creare una zona di rilevamento intorno ad un impianto. Un sistema di questo tipo è generalmente costituito da due dispositivi:

- EPU (Equipment Protect Unit). Si tratta di un dispositivo posizionato su macchine e attrezzature, che deve ricevere un segnale dal sistema e produrre un avviso di pericolo per avvertire gli operatori a bordo del mezzo.

- PPU (Personal Protect Unit). Si tratta di un dispositivo portato dagli operatori che possono potenzialmente entrare nell'area di rilevamento. In alcuni casi il PPU può essere incorporato all'interno dei DPI degli operatori, in altri casi è costituito da elementi distinti, come un tag e un dispositivo intelligente indossabile.

Oltre alla funzione di allarme, questi sistemi possono essere integrati con dei meccanismi di controllo e arresto in sicurezza automatico della macchina.

### **3.2 Dispositivi smart intelligenti e indossabili**

I dispositivi intelligenti e indossabili stanno trovando un'applicazione diffusa nella realtà industriale per la potenzialità di riprogettare e digitalizzare i processi. L'analisi degli smartwatch comunemente utilizzati in ambienti industriali ha confermato la capacità di questi dispositivi di raccogliere e comunicare dati, caratteristiche essenziali per essere scelti come PPU. Le tecnologie di connettività, quali Wi-Fi, Bluetooth e GPS, sono previste per tutti i modelli, così come lo sviluppo di applicazioni, che dipende dai diversi sistemi operativi, permette di estendere le funzionalità degli smartwatch alle esigenze e requisiti necessari a renderli i dispositivi di protezione in dotazione agli operatori:

- Connessione wireless, per comunicare con gli altri nodi della rete del sistema.
- Ricezione di notifiche, tramite lo sviluppo di un'applicazione appositamente progettata.
- Portabilità e resistenza ad agenti atmosferici, richiesta in ambienti outdoor.
- Scalabilità. Infatti, per aumentare il numero operatori facenti parte della rete, basta dotare gli operatori di un proprio dispositivo.

### **3.3 Tecnologie di rilevamento ostacoli in ambienti outdoor**

Esistono numerose tecnologie di rilevamento utilizzabili per sistemi di sicurezza in ambienti outdoor e la loro scelta dipende da molti fattori, quali il tipo di scenario lavorativo, le condizioni operative e ambientali, la tipologia di impianti e di ostacoli da monitorare, le prestazioni tecniche richieste, cui si aggiungono considerazioni economiche e sull'installazione dei dispositivi necessari. Tra le tecnologie di rilevamento e comunicazione wireless, utilizzabili in queste applicazioni, si ricordano sensori magnetici, RFID, Bluetooth e Bluetooth Low Energy (BLE), telecamere, Radar, Lidar, sensori ad ultrasuoni, GPS e combinazioni di esse. L'applicazione in un cantiere agricolo e forestale e la necessità di discriminare tra ostacoli effettivi ed elementi che devono effettivamente interagire con le macchine mobili operatrici (si pensi ad esempio a vegetazione, alberi o arbusti da tagliare)

impongono la scelta di un sistema che adotti una tecnologia robusta e affidabile in ogni condizione atmosferica e ambientale, sufficientemente precisa e in grado di distinguere gli ostacoli effettivi dai falsi allarmi. In questo senso le tecnologie più adatte sono RFID e BLE che hanno una precisione e distanza di rilevamento sufficienti per le applicazioni di sicurezza richieste, non presentano problemi di falsi allarmi e sono attuabili tramite il montaggio di tag, sugli elementi da monitorare, resistenti alle intemperie e relativamente poco costosi e facili da installare. L'applicazione dei tag consente di riconfigurare velocemente il sistema e di riadattarlo in caso di cambiamento dello scenario.

### **3.4 Revisione dei sistemi di sicurezza per cantieri industriali all'aperto disponibili in commercio e presentati in letteratura scientifica: Limiti rispetto all'applicazione prevista**

L'analisi dei sistemi di sicurezza disponibili in commercio ed esposti in articoli scientifici ha evidenziato come siano presenti soluzioni per la gestione del rischio interferenza e la prevenzione di incidenti tra macchine e persone, in cantieri edili e minerari, per i quali è previsto l'utilizzo in combinazione di numerose tecnologie di rilevamento e di dispositivi smart e wearable. Tuttavia, non esistono sistemi sviluppati e testati per il settore agricolo e forestale. Inoltre, considerando il progetto SMARTGRID, occorre valutare quali differenze progettuali e gestionali impone la necessità di rilevare ostacoli in cantieri all'aperto, dove si utilizzano MMOCR. In particolare, occorre considerare i seguenti fattori:

- Cambiamento del numero e della posizione degli ostacoli.
- Progettazione di soluzioni diverse per operatori e addetti alla guida delle macchine, che si concretizza nella progettazione di appositi PPU per i piloti delle MMOCR.
- Minor controllo visivo della MMOCR e dell'area di lavoro circostante a causa della distanza variabile tra pilota e MMOCR stessa.

Da ciò consegue la necessità di sviluppare un sistema scalabile, riconfigurabile ed in grado di controllare e, eventualmente, bloccare automaticamente i movimenti delle MMOCR in caso di pericolo, oltre a rilevare ostacoli e avvertire gli operatori coinvolti.

## **4. Il Sistema SMARTGRID**

### **4.1 Definizione dei requisiti del sistema**

Sulla base delle analisi effettuate sono stati definiti i requisiti richiesti per il Sistema di

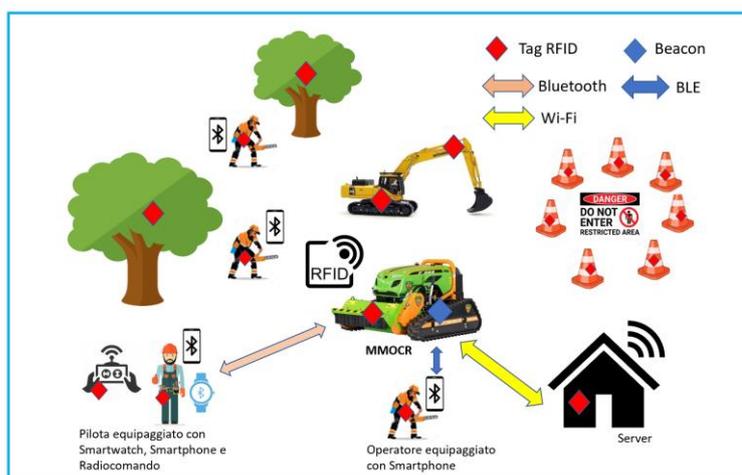
sicurezza SMARTGRID. Nel complesso, i requisiti richiesti al sistema risultano essere quelli descritti di seguito:

- Rilevare e individuare la presenza di ostacoli in prossimità delle MMOCR.
- Misurare, in maniera continua, la distanza tra la MMOCR e il proprio pilota.
- Riconoscere la tipologia di ostacolo rilevato ed eventualmente attuare azioni opportune per mettere in sicurezza macchine e persone coinvolte.
- Misurare la distanza tra le MMOCR e gli ostacoli rilevati. Distinguere, in base alla distanza misurata e al tipo di ostacolo identificato, tra eventi di allarme e di pericolo.
- Avvertire i piloti e gli operatori in caso di allarme e di pericolo.
- Mettere in sicurezza la MMOCR, arrestandone il moto degli organi in movimento e/o arrestandone l'avanzamento, tramite opportuni attuatori, in caso di pericolo.
- Comunicare gli eventi avvenuti e le misurazioni effettuate a un sistema di raccolta e analisi dei dati.
- Ripristinare le condizioni di sicurezza attorno alla MMOCR, dopo l'attivazione della funzione di arresto di sicurezza.

#### 4.2 Descrizione della struttura del sistema

Il sistema SMARTGRID, la cui struttura è riportata in **Figura 2**, è un sistema di rilevamento e

identificazione di ostacoli, di avvertimento di prossimità del personale di cantiere e di controllo del movimento della MMOCR. Il sistema si concretizza in una rete WSAAN (Wireless Sensor & Actuator Network), che mette in comunicazione MMOCR, altre macchine, personale di



**Figura 2** Struttura del sistema SMARTGRID

cantiere e ostacoli, tra loro e con un server per la raccolta e l'analisi dei dati. Il sistema SMARTGRID risulta essere costituito da due sottosistemi di sicurezza integrati che lavorano in parallelo per adempiere alle funzioni di sicurezza necessarie: il Sistema di Rilevamento RFID (SRRFID) e il Sistema di Avvertimento di prossimità Personale BLE (SAPBLE).

#### **4.2.1 Sistema di Rilevamento RFID**

Si tratta di un sistema di rilevamento di prossimità e di identificazione di ostacoli, di misurazione della distanza da essi e di controllo del movimento della MMOCR, che si serve della tecnologia di rilevamento a radiofrequenza con tag RFID passivi. Il sistema è installato a bordo della MMOCR e interviene nella gestione della relazione tra la macchina e il proprio pilota. Risulta essere costituito da: Reader e Antenna RFID, che percepiscono la presenza di tag, preventivamente applicati agli ostacoli; Tag RFID passivi, che devono essere applicati a tutti gli elementi e attori dello scenario operativo che il sistema deve poter riconoscere; Microprocessore, dotato di algoritmo di radio-localizzazione, che misura la distanza tra MMOCR e tag rilevati e comunica con gli smartwatch dei piloti (tramite Bluetooth) e con gli attuatori a bordo macchina per l'eventuale arresto in sicurezza della MMOCR; Smartwatch, in dotazione ai piloti, che consentono di ricevere notifiche di avvertimento. La funzione di arresto automatico integra la funzione di arresto di emergenza, già implementata dai costruttori nella maggioranza dei modelli, azionabile dal radiocomando del pilota.

#### **4.2.2 Sistema di Avvertimento di prossimità Personale BLE**

Si tratta di un sistema di avvertimento che si basa sulla tecnologia di rilevamento BLE. Esso fornisce segnali di avvertimento a tutto il personale di cantiere nell'area di lavoro, nel caso in cui si presentino situazioni di pericolo. L'unità ricevente è rappresentata dagli smartphone in dotazione al personale di cantiere (compresi i piloti), mentre le unità trasmettenti sono costituite dai beacon BLE applicati a bordo delle MMOCR.

SRRFID e SAPBLE sono due sistemi complementari e parzialmente ridondanti, progettati per funzionare in parallelo e garantire una gestione del rischio affidabile e robusta. Comunicano con un server di controllo, posizionato in una cabina isolata all'interno dell'area di lavoro. Le funzioni svolte dal server sono la programmazione di tutte le attività necessarie alla preparazione dell'ambiente di lavoro, la registrazione degli eventi avvenuti e rilevati dal sistema, in modo da monitorare le condizioni operative di macchine e operatori, e la possibilità di effettuare post-processing dei dati.

#### **4.3 Definizione delle procedure di funzionamento del sistema**

L'elaborato di Tesi si è poi concentrato sulla definizione delle procedure di funzionamento del sistema SMARTGRID. In particolare, sono state definite una procedura di funzionamento

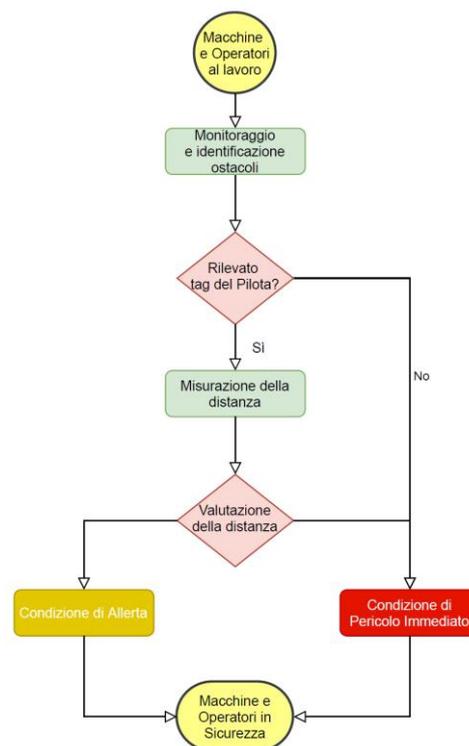
per ognuno dei sottosistemi e una procedura di ripristino delle condizioni di lavoro (dopo l'attivazione delle funzioni di sicurezza previste dal sistema).

#### 4.3.1 Procedura di funzionamento del SRRFID

La procedura di funzionamento del SRRFID, rappresentata schematicamente in **Figura 3**, si compone delle seguenti fasi:

- Fase 1: "Monitoraggio dell'area di lavoro e identificazione degli ostacoli rilevati". Il sistema RFID, installato a bordo macchina, monitora l'area di lavoro per rilevare tag. In ogni momento il sistema deve percepire il tag del pilota e segnalare una Condizione di Pericolo Immediato, in caso negativo. Nel momento in cui il sistema rileva uno o più tag, deve procedere all'identificazione degli ostacoli.

- Fase 2: "Valutazione delle azioni necessarie". In base al tipo di ostacolo identificato, il sistema deve misurare la distanza MMOCR-ostacolo e confrontarla con valori prestabiliti (inseriti nel database del server di controllo), in modo da riconoscere, eventualmente, una Condizione di Allerta o una Condizione di Pericolo Immediato. In particolare, per ogni possibile classe costituita da



**Figura 3** Procedura di funzionamento del sistema SRRFID

MMOCR e ostacolo, sono definite una Distanza di Allerta e una Distanza di Pericolo Immediato. Il sistema confronta il valore della distanza misurata con tali valori e riconosce se intervenire o meno e quali azioni effettuare, in base alle valutazioni svolte.

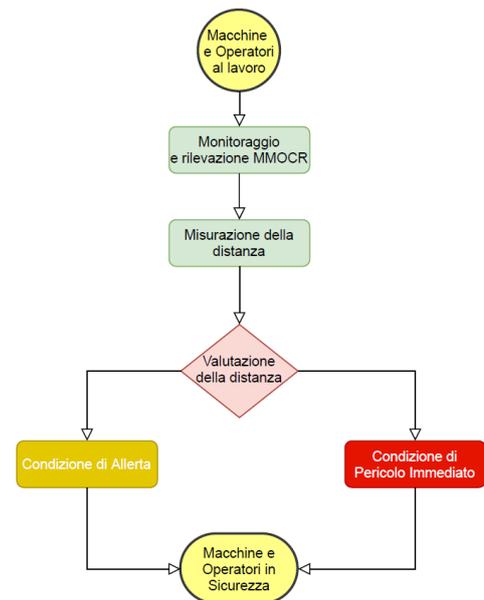
- Fase 3: "Attuazione delle azioni necessarie per mettere in sicurezza MMOCR e Piloti per la Condizione di Allerta". Il sistema produce una notifica di avvertimento per il pilota della MMOCR e per il server di controllo e continua a monitorare l'area di lavoro. Il pilota deve valutare la propria posizione e quella della MMOCR, per ritornare a una condizione di guida sicura con opportune manovre. Può eventualmente decidere di azionare l'arresto di emergenza dal radiocomando.
- Fase 4: "Attuazione delle azioni necessarie per mettere in sicurezza MMOCR e Piloti per la Condizione di Pericolo Immediato". Il sistema produce una notifica di avvertimento per

il pilota della MMOCR e per il server di controllo e aziona gli attuatori per l'arresto in sicurezza automatico della MMOCR.

#### 4.3.2 Procedura di funzionamento del SAPBLE

La procedura di funzionamento del SAPBLE, rappresentata schematicamente in **Figura 4**, si compone delle seguenti fasi:

- Fase 1: "Monitoraggio dell'area di lavoro e rilevamento MMOCR". Lo smartphone equipaggiato ad ogni pilota e operatore monitora l'area di lavoro per rilevare beacon applicati alle MMOCR. Nel caso in cui un beacon sia rilevato, la MMOCR viene identificata.
- Fase 2: "Valutazione delle azioni necessarie". In base alla potenza del segnale ricevuto, il sistema (smartphone dotato di applicazione)



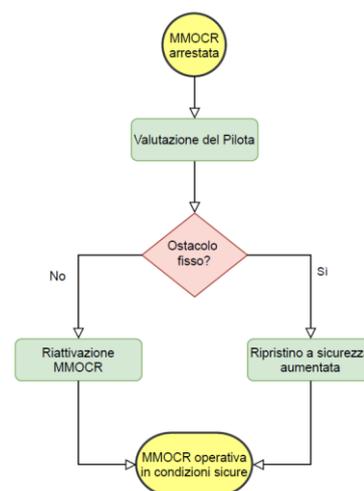
**Figura 4** Procedura di funzionamento del sistema SAPBLE

misura la distanza tra operatore/pilota-MMOCR identificata e, in modo analogo alla procedura del sistema SRRFID, la confronta con i valori prestabiliti della Distanza di Allerta e della Distanza di Pericolo Immediato (definiti in questo caso per ogni classe costituita da operatore e MMOCR), in modo da riconoscere, eventualmente, una Condizione di Allerta o una Condizione di Pericolo Immediato.

- Fase 3: "Attuazione delle azioni necessarie per mettere in sicurezza MMOCR, Piloti e Operatori per la Condizione di Allerta". Il sistema produce una notifica di avvertimento a tutti i piloti e operatori coinvolti e al server di controllo. Piloti e operatori devono mettersi in sicurezza.
- Fase 4: "Attuazione delle azioni necessarie per mettere in sicurezza MMOCR, Piloti e Operatori per la Condizione di Pericolo Immediato". Il sistema produce una notifica di avvertimento a tutti i piloti e operatori coinvolti e al server di controllo. Piloti e operatori devono mettersi in sicurezza; il pilota della MMOCR rilevata deve azionare il pulsante di emergenza.

### 4.3.3 Procedura di ripristino

La procedura di ripristino, rappresentata schematicamente in **Figura 5**, si rende necessaria dopo che la MMOCR è stata arrestata in sicurezza. La procedura di ripristino ha il compito transitorio di ripristinare una nuova condizione operativa sicura. La procedura si articola diversamente a seconda del tipo di ostacolo per cui si è richiesto l'arresto di sicurezza della MMOCR; nel caso di ostacoli fissi, la procedura deve consentire la momentanea disattivazione della funzione di arresto automatico della MMOCR, per consentire al pilota di effettuare le manovre utili all'allontanamento della MMOCR dall'ostacolo. Per far questo, occorre prevedere una procedura di bypass a sicurezza aumentata: la manovra di allontanamento della MMOCR dall'ostacolo avviene tramite un comando ad azione mantenuta sul radiocomando e prevede l'attivazione di attuatori per limitare la velocità massima di marcia e l'impossibilità di far funzionare le eventuali attrezzature equipaggiate alla MMOCR.



**Figura 5** Procedura di ripristino

## 5. Conclusioni

Questo studio si è posto un duplice obiettivo. Come prima cosa, sulla base dell'inquadramento delle MMOCR e dell'analisi dello stato dell'arte delle tecnologie utilizzabili per l'identificazione di ostacoli in ambienti outdoor, è stata verificata la possibilità di sviluppare un sistema di sicurezza smart e wearable, in grado di gestire la sicurezza degli operatori e prevenire incidenti in un ambiente, con presenza di ostacoli mobili e fissi, come quello rappresentato da un cantiere agricolo e forestale. Dopodiché, partendo dalle analisi e valutazioni effettuate, la trattazione si è spostata sullo sviluppo concettuale del sistema smart, propedeutico agli obiettivi successivi del progetto SMARTGRID, framework della Tesi. In particolare, sono stati delineati i requisiti generali richiesti al sistema di sicurezza e sono state progettate ed esplicitate le procedure di funzionamento del sistema. La definizione delle procedure intende, da un lato, rappresentare una linea guida per i progettisti, fornendo istruzioni per progettazione, programmazione e sviluppo degli elementi hardware e software del sistema e, dall'altro lato, costituire un manuale d'uso per il personale di cantiere e per i supervisori che effettivamente interagiranno con il sistema.