

## **Minipiattaforme volanti per il controllo del territorio: ambienti di simulazione**

*Claudio Demartini*  
Politecnico di Torino - DAUIN  
*claudio.demartini@polito.it*

*Barbara Pralio*  
Politecnico di Torino - DIASP  
*barbara.pralio@polito.it*

*Fulvia Quagliotti*  
Politecnico di Torino - DIASP  
*fulvia.quagliotti@polito.it*

*Andrea Sanna*  
Politecnico di Torino - DAUIN  
*andrea.sanna@polito.it*

### **ABSTRACT**

*I progetti per la tutela dei cittadini e per la salvaguardia del territorio sono di primaria importanza sia a livello nazionale, dove il MIUR li indica ormai costantemente come argomenti di ricerca primari, sia a livello europeo come testimoniato dagli obiettivi del VI Programma Quadro.*

*Questo articolo presenta gli aspetti legati alla simulazione e alle interfacce uomo-macchina di un mini velivolo preposto al controllo del territorio. In questo contesto, l'addestramento del personale e la facilità di utilizzo delle attrezzature (stazione di terra) costituiscono due punti chiave del progetto. In particolare, si annoverano fra gli obiettivi primari la possibilità, da parte di un unico operatore a terra, di svolgere le attività legate al pilotaggio ed al controllo dei dati ricevuti a terra. Tale aspetto rende particolarmente importante la progettazione e lo sviluppo di opportune interfacce sia per il controllo della piattaforma sia per la visualizzazione delle informazioni.*

### **Introduzione**

La realtà virtuale e lo sviluppo di ambienti di simulazione rappresentano un aspetto chiave dell'attività di progettazione e di analisi di fattibilità, applicabile sia ai mezzi di trasporto sia agli ambienti di gestione e di controllo dei mezzi stessi. Nell'ambito dello sviluppo di velivoli non abitati, la simulazione coinvolge, oltre alla classica modellizzazione matematica della dinamica della piattaforma aerea e dei suoi sottosistemi, la creazione di un ambiente virtuale rappresentativo della stazione di controllo a terra. Alla simulazione viene, così, riconosciuto il duplice ruolo di strumento per la progettazione della stazione stessa e per la messa a punto degli algoritmi di gestione della piattaforma e di mezzo di addestramento del personale operatore, in una fase preliminare alla gestione della piattaforma reale.

Il presente articolo riporta l'attività svolta nell'ambito di un progetto, cofinanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca, finalizzato allo studio ed allo sviluppo di un sistema per il monitoraggio in tempo reale del territorio. Fra le applicazioni primarie del sistema si annoverano la prevenzione ed il monitoraggio degli incendi, il supporto ai mezzi comunemente impiegati per il monitoraggio del territorio in caso di calamità naturali e la ricognizione di aree industriali per la rilevazione di fumi e gas. Il sistema in oggetto, costituito da una piattaforma di volo, dai sistemi di bordo, dal carico utile trasportato e dalla stazione di controllo a terra, si basa su un minivelivolo di apertura alare pari a 1 m e peso massimo al decollo pari a 1,5 kg. In questo contesto la simulazione è stata e viene utilizzata a livello di progettazione della piattaforma, per l'analisi delle caratteristiche dinamiche del sistema e l'ottimizzazione delle prestazioni dello stesso, ed a livello di simulazione degli ambienti di controllo della missione nonché per il supporto all'operatore nelle fasi di pilotaggio reale. Sulla base delle reali condizioni operative e del profilo di missione concordato con gli Enti interessati e coinvolti direttamente nel progetto stesso (Protezione Civile di Enna), l'hardware di simulazione è costituito da un PC notebook, su cui vengono ricostruiti virtualmente gli scenari operativi, nella fase di progettazione, e su cui viene visualizzato lo *streaming* video nella fase di addestramento del personale e di reale svolgimento della missione. Il software di simulazione è, invece, costituito dal modello matematico della piattaforma, validato attraverso prove di volo, e dal motore di *rendering* dello scenario virtuale, basato su mappe altimetriche della zona oggetto di monitoraggio, su cui vengono applicate *texture* ricavate da fotografie dell'ambiente reale. Nella ricostruzione del paesaggio sono stati inseriti ostacoli di varia natura (costruzioni, alberi, ...), rispettando la logica legata all'ambientazione della missione. La stazione di controllo virtuale, in completa similitudine con quella reale, permette la gestione del velivolo in pilotaggio remoto ed in volo autonomo. Uno studio approfondito è stato dedicato ai diversi aspetti legati alle interfacce di gestione della piattaforma, analizzando l'approccio dell'operatore alle diverse modalità di controllo del velivolo (radiocomando, joystick, guanto virtuale) e ai punti di vista per il pilotaggio ed il monitoraggio remoto (vista fornita da una o più videocamere interne con diverse posizioni ed angolazioni, vista "da terra").

## Obiettivi

Le operazioni di controllo del territorio coinvolgono Enti come la Protezione Civile, la Guardia Forestale e i Vigili del Fuoco, chiamati a svolgere missioni spesso ad alto rischio per la gestione di calamità naturali. Non solo la salvaguardia del territorio espone spesso a rischi gli operatori, ma è, in generale, un onere finanziario notevole per tutta la comunità.

Il progetto presentato in questo articolo ha come obiettivo primario quello di progettare e realizzare una piattaforma mobile che consenta di controllare il territorio riducendo sia i rischi per gli operatori sia i costi a carico degli Enti. In particolare, la piattaforma aerea in questione deve poter svolgere missioni di volo autonomo oltre che in pilotaggio remoto, di durata non inferiore a 40 minuti, trasportando quale carico utile una serie di sensori e di telecamere. La caratteristica di tale sistema sarà la capacità di essere gestito da un unico operatore, dotato di una stazione di controllo a terra in grado di consentirgli estrema mobilità e flessibilità nello svolgimento della missione. Le tradizionali *Ground Control Station* (spesso allestite a bordo di jeep o furgoni), rappresentanti un complemento indispensabile ai sistemi di velivoli non abitati, si dimostrano inadatte a missioni in territori impervi dove risulta possibile muoversi solo a piedi. Il progetto della stazione di terra, improntato quindi all'alleggerimento dell'equipaggiamento, comprenderà unicamente un computer

portatile sul quale verranno visualizzati tutti i dati della missione (*stream* video provenienti dalle telecamere e dati dei sensori), mentre verranno elaborate una serie di informazioni aggiuntive che permetteranno all'operatore di avere una ricostruzione virtuale del velivolo in tempo reale e di visualizzare costantemente la sua posizione sul territorio.

I requisiti di missione concordati con gli Enti interessati (Protezione Civile della Provincia di Enna) definiscono una durata di missione di circa 30 minuti e la possibilità di svolgere almeno parte di essa in pilotaggio remoto e/o autonomo. Se con il termine pilotaggio remoto si intende la possibilità di pilotare il mini velivolo basandosi sulle viste fornite dalle telecamere oltre che sulla visione diretta del velivolo medesimo, per volo autonomo si intende la possibilità di programmare un percorso predefinito e di far eseguire la missione senza il controllo/pilotaggio diretto di un operatore, se non per le fasi di decollo e atterraggio. Nell'ambito delle fasi di missione in volo autonomo si prevede la possibilità di riprogrammare il piano di volo in base a particolari criticità riscontrate durante lo svolgimento della missione.

Gli strumenti di simulazione e di realtà virtuale verranno utilizzati con l'obiettivo di creare un supporto all'addestramento del personale ed alla familiarizzazione con le peculiarità di gestione e di controllo del sistema integrato. Gli aspetti ergonomici della stazione di controllo verranno in particolare investigati al fine di ottimizzare le tempistiche di intervento del personale operatore e di permettergli di controllare in modo efficiente ed intuitivo lo svolgimento della missione.

## Il simulatore di volo

L'architettura del simulatore di volo, riportata in Figura 1, mostra l'insieme di dispositivi di input (tastiera, joystick, guanto e radio trasmittente a 40 MHz) che permettono all'utente di "gestire" la piattaforma aerea. Il software di simulazione è costituito da due moduli principali: il motore di simulazione della dinamica del velivolo e lo scenario virtuale. La geometria dello scenario (il mondo virtuale) e la configurazione del velivolo vengono caricati all'inizio della sessione di simulazione. Nel seguito verranno descritte nel dettaglio le possibili interfacce per l'addestramento al pilotaggio.

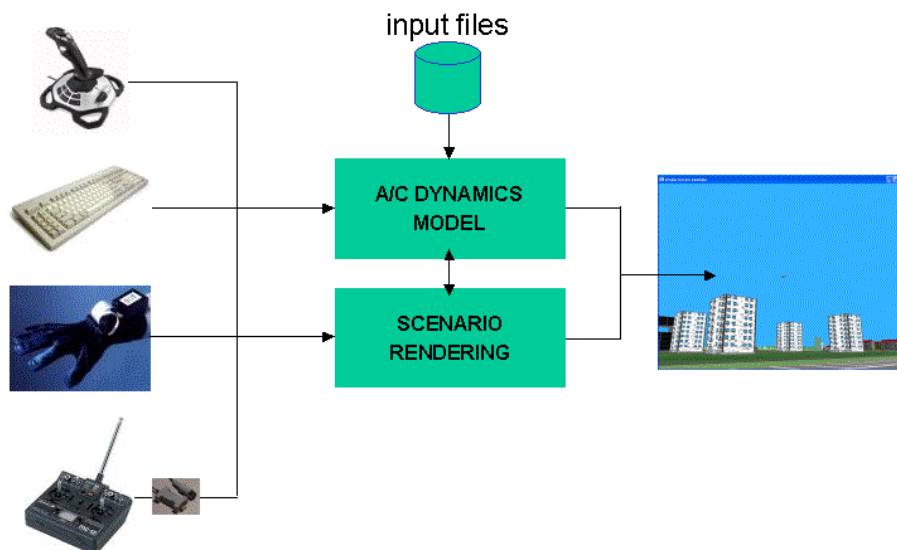
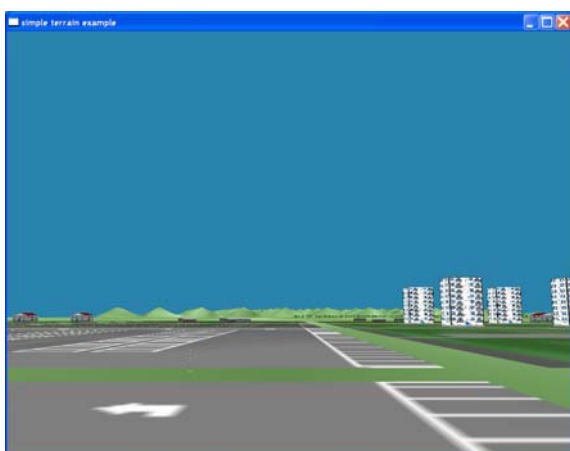


Figura 1 Architettura del simulatore.

La possibilità di fornire all'operatore un insieme di differenti "punti di vista" nella gestione della piattaforma rappresenta un punto chiave nel progetto della stazione di controllo. In particolare, ricopre un ruolo fondamentale ai fini del pilotaggio remoto e del monitoraggio della piattaforma nelle fasi di volo autonomo la possibilità, per l'operatore, di valutare costantemente gli assetti del velivolo. Tale aspetto rappresenta una problematica peculiare della gestione di velivoli non abitati di piccole dimensioni, per cui il pilotaggio remoto introduce il problema della ricostruzione degli assetti di volo. A tal fine sono previste, sia nelle fasi di addestramento virtuale sia nelle fasi di pilotaggio reale, diverse possibilità di controllo visivo della piattaforma:

- una vista da terra, in grado di riprodurre la classica impostazione di operatore a terra nelle



**Figura 2 Vista interna simulata (sinistra) e reale (destra).**

fasi di pilotaggio remoto convenzionale;

- una vista interna al velivolo, ottenibile tramite una telecamera posizionata a bordo ed espressamente dedicata al pilotaggio remoto, al fine di riprodurre un'impostazione analoga al pilotaggio convenzionale;
- una vista virtuale che permetta di "seguire" il velivolo in modo da controllarne gli assetti.

Quest'ultima modalità, facile da ottenere in un mondo virtuale simulato, non ha un corrispettivo reale, poiché impossibile da fornire per qualsiasi telecamera, e deve essere ricostruita artificialmente sfruttando le informazioni sugli assetti provenienti dall'autopilota.

Esempi di vista interna, simulata e reale, sono riportati in Figura 2.

La vista interna ha lo scopo di rappresentare lo *stream* video (immagine di destra della Figura 2) che l'operatore riceve sulla stazione di terra dalla telecamera di bordo.

La vista esterna (Figura 3), come detto in precedenza, non è direttamente legata a nessun modo reale di pilotaggio, ma rappresenta un ausilio importante per l'operatore, sia per l'addestramento sia per il pilotaggio remoto reale. Questa modalità è identica sia nel simulatore sia nella ricostruzione virtuale sulla stazione di terra; in particolare, l'operatore può "ruotare" attorno al velivolo per comprenderne velocemente variazioni di assetto.

La vista in Figura 3 mostra un semplice sistema di proiezioni di dati sullo schermo, in analogia con un HUD (Head-Up Display). Tale strumento di supporto alla gestione è stato validato nel



**Figura 3** Rappresentazione della vista esterna.

simulatore e, in ragione della sua utilità, si è deciso di ricrearlo anche nella stazione di terra. L'HUD riporta una serie di informazioni relative alle condizioni operative (quota, velocità, angolo di rampa), agli assetti di volo ed alle configurazioni del velivolo (deflessioni delle superfici di controllo). Nel caso di una missione reale, le informazioni visualizzate mediante HUD vengono inviate alla stazione di terra dall'autopilota.

La possibilità di fornire la vista da terra rappresenta un punto di fondamentale importanza per le attività di addestramento del personale, poiché costituisce uno strumento indispensabile per simulare le difficoltà del pilotaggio remoto della piattaforma basata sulla ricostruzione degli assetti tramite l'occhio umano. Tale argomento riveste un ruolo critico nel presente contesto, in quanto la piattaforma in questione ha una apertura alare di un metro e una lunghezza poco inferiore. Tali dimensioni rendono problematico il pilotaggio remoto quando la distanza dal velivolo cresce anche a solo poche decine di metri; sebbene la piattaforma resti visibile, risulta molto difficile identificarne con chiarezza gli assetti di volo. Un esempio di vista da terra simulata è mostrato in Figura 4. L'immagine di sinistra rappresenta una vista simulata, mentre quella di destra una vista reale.

In Figura 5 viene mostrata l'interfaccia di gestione della stazione di terra. Nell'angolo in alto a sinistra vengono visualizzati gli *stream* video delle telecamere di bordo; il progetto prevede che oltre ad una telecamera per il pilotaggio possa essere installata anche una telecamera sensibile all'infrarosso termico, con lo scopo di facilitare la prevenzione e il monitoraggio degli incendi.



**Figura 4** A destra la vista simulata da terra, a sinistra un'immagine reale.

Nella parte di destra della Figura 5, usando i dati provenienti dall'autopilota, viene ricostruita una rappresentazione virtuale del velivolo per ottimizzare la percezione degli assetti da parte dell'operatore. Infine, la parte inferiore è dedicata alla riproduzione di una mappa multirisoluzione del territorio (il velivolo viene rappresentato tramite una freccia) per avere l'immediata percezione della posizione e della direzione di volo.



**Figura 5** Interfaccia di visualizzazione della stazione di terra.

## Interfaccia utente

L'interfaccia di gestione utente – sistema è costituita da un insieme di dispositivi di controllo, resi disponibili sia nel simulatore sia nella stazione di pilotaggio reale. Fra questi dispositivi, alcuni sono di utilizzo comune nella gestione remota di piattaforme aeree (radiotrasmittente a 40 MHz) e sono stati introdotti nella ricostruzione virtuale della stazione di controllo a terra al fine di ricreare un ambiente di simulazione il più possibile realistico e fedele. Altri dispositivi alternativi, quali joystick e guanto virtuale, sono stati inseriti nella simulazione al fine di valutarne l'efficacia di un eventuale utilizzo nella stazione di controllo reale.

L'integrazione della radiotrasmittente nel simulatore è stata effettuata mediante un'apposita interfaccia RC-Electronics [1] che permette di utilizzare il radiocomando analogamente ad un joystick connesso ad una porta USB, traducendo i comandi in "formato digitale". Le librerie PLIB [2], implementate all'interno del simulatore, permettono di gestire qualunque tipo di joystick e, quindi, anche il radiocomando.

Come detto precedentemente, nell'ambito della stazione di controllo virtuale è, inoltre, possibile pilotare il velivolo mediante un joystick o un guanto virtuale (5DT) [3]. Quest'ultimo è dotato di librerie di supporto e di strumenti di sviluppo per le piattaforme Windows e Linux. È possibile sviluppare programmi *ad-hoc* utilizzando un insieme di API che permettono di calibrare il dispositivo, riconoscere la gestualità e determinare la rotazione del polso. I gesti riconosciuti sono mostrati in Figura 6.



**Figura 6 Gesti riconosciuti dal guanto virtuale.**

Per il controllo mediante tale dispositivo si è reso necessario considerare una serie di aspetti:

- l'utente deve essere in grado di controllare la piattaforma in modo intuitivo ed efficiente
- gesti involontari non devono corrispondere a comandi
- il pilotaggio deve essere il più "confortevole" possibile

Una serie di prove hanno portato a scegliere i gesti *index finger point* e *two finger point* per decrementare ed aumentare la manetta, rispettivamente. Poiché il guanto è equipaggiato con sensori di *roll* e *pitch* per determinare la rotazione del polso, la gestualità *fist*, abbinata ai movimenti del polso medesimo, viene utilizzata per emulare i comandi di barra. La Figura 7 mostra un esempio di pilotaggio con il guanto all'interno del simulatore.

In relazione alle problematiche di pilotaggio e gestione reale della piattaforma, la valutazione di efficacia di interfacce alternative al tradizionale radiocomando ha l'obiettivo di permettere anche a personale non esperto di raggiungere in breve tempo un accettabile livello di abilità e "confidenza". Joystick e strumenti di realtà virtuale come il guanto dovrebbero rivelarsi dispositivi più intuitivi e facili da gestire. Sfortunatamente, questi dispositivi per loro natura digitali, non possono direttamente "interagire" con la piattaforma. In altre parole, i comandi impartiti con joystick e guanto devono essere tradotti in un formato tale da potere gestire i comandi impartiti al velivolo in termini di deflessione delle superfici mobili e percentuale di numero di giri motore. A tal proposito, RC-Electronics [1] fornisce interfacce denominate *PCBuddy Interface*, che permettono di accoppiare l'uscita digitale di una porta seriale ad un tradizionale radiocomando. Il radiocomando viene sfruttato nella sua modalità maestro-allievo (utilizzando la sua elettronica per la trasmissione) per inviare i comandi generati da un fittizio trasmettitore allievo (il PC al quale è collegato il guanto o il joystick) alla piattaforma.



**Figura 7 Esempio di pilotaggio con il guanto all'interno del simulatore.**



## **Conclusioni e sviluppi futuri**

In questo articolo viene presentato lo stato dei lavori riguardanti lo sviluppo di una piattaforma aerea per il controllo del territorio. In particolare, vengono descritte le caratteristiche e le problematiche legate alla simulazione di un minivelivolo e all'addestramento del personale operatore. Viene discussa l'interfaccia della stazione di terra, pensata per permettere ad un unico operatore di gestire in autonomia lo svolgimento della missione.

Gli sviluppi futuri in termini di simulazione e progettazione delle interfacce uomo-macchina saranno improntati, da una parte all'integrazione di un autopilota nel simulatore, in modo da simulare anche le fasi della missione eseguite in volo autonomo e dall'altra a prove di pilotaggio reali mediante joystick e guanto; l'affinamento dei meccanismi di pilotaggio e gestione è affidato alle prove di volo. È inoltre in fase di studio un sistema per il controllo vocale di alcune delle funzionalità di visualizzazione dell'interfaccia di terra, in modo da realizzare un'interazione multi-modale.

## **Bibliografia**

1. RC-Electronics web site: <http://www.rc-electronics.co.uk/>
2. PLIB: a portable game library, web site: <http://plib.sourceforge.net/>
3. 5DT: <http://www.5DT.com>