

CPSwarm

Autori:

Claudio Pastrone (Head of IoT and Pervasive Technologies [IPT] Research Area, claudio.pastrone@linksfoundation.com),

Davide Conzon (IPT Team leader, davide.conzon@linksfoundation.com)

Gianluca Prato (IPT Researcher, gianluca.prato@linksfoundation.com),

Enrico Ferrera (IPT Team leader, enrico.ferrera@linksfoundation.com)

Luigi Coriasco (IPT Researcher, luigi.coriasco@linksfoundation.com)

Tematiche: IoT, Cyber Physical Systems, Modelling, Swarm Intelligence

L'AZIENDA

La Fondazione LINKS è un ente strumentale della Compagnia di San Paolo ed opera come ente strumentale del Politecnico di Torino. È un centro di ricerche internazionale che si occupa di ICT ed advanced urban planning in diversi scenari applicativi. Nasce come un anello di congiunzione fra il mondo accademico e quello di imprese, startup e istituzioni, per affermarsi come centro di ricerca di riferimento per le organizzazioni che vogliono crescere e aumentare la propria competitività e gli studenti di talento interessati a sviluppare le proprie competenze in un ambiente giovane e stimolante. Il focus è la ricerca e lo sviluppo di tecnologie di ultima generazione e processi innovativi applicati a casi reali con un approccio imprenditoriale multidisciplinare e di problem solving, per vincere le sfide poste dalla trasformazione digitale e dal suo impatto sull'ambiente e sulla società per garantire un futuro migliore a tutti.

IL PROGETTO

CPSwarm è un progetto di ricerca e innovazione H2020 finanziato dalla Commissione Europea, durato tre anni (Gennaio 2017 – Dicembre 2019) e coordinato dalla Fondazione LINKS. Il progetto ha coinvolto 10 partner, provenienti da 6 paesi EU (Italia, Francia, Austria, Spagna, Germania ed Ungheria). CPSwarm, in Italia, oltre alla Fondazione LINKS, ha visto la partecipazione anche dell'azienda torinese Digisky Srl. Il progetto ha realizzato una completa **toolchain** ed una **workbench** per applicazioni che impieghino **gruppi di Cyber-Physical Systems (CPS)** - *intesi come sistemi embedded dotati di capacità computazionali e di comunicazione ed in grado di interagire con il mondo fisico anche con forti requisiti in termini di tempi di reazione* – in grado di cooperare per svolgere un task complesso. CPSwarm consente di:

- *progettare CPS autonomi dotati di Intelligenza Artificiale (IA), in grado di organizzarsi in sciame e collaborare tra loro;*
- *testare ed ottimizzare le prestazioni di uno sciame di CPS in ambiente simulato rispetto a obiettivi di design;*
- *installare software in un numero potenzialmente elevato di CPS riconfigurabili e gestirne il comportamento in scenari operativi.*

I pilastri del progetto sono il design basato su modelli e l'ingegneria predittiva, con l'obiettivo di permettere la definizione, composizione, simulazione, installazione e test di CPS autonomi e collaborativi, tenendo in considerazione diverse dinamiche, vincoli e problemi di sicurezza, prestazioni e limitando i tempi di sviluppo.

IL PROBLEMA

I CPS sono sfruttati in diversi ambiti applicativi per monitorare e controllare il mondo fisico ed i suoi processi, generando catene di retroazione, in cui processi fisici e calcoli computazionali si influenzano reciprocamente. Si può parlare così di intersezione tra mondo fisico e mondo "virtuale". Esempi di CPS si possono trovare nell'automazione industriale, nell'automotive e nella robotica. In un impianto di produzione, PLC integrati con sensori/attuatori eterogenei sono in grado di operare in tempo reale; nei veicoli autonomi, sono presenti sistemi di frenata automatica caratterizzati da tempi di risposta estremamente bassi; droni e robot sono sempre più impiegati in soluzioni di smart city e di supporto all'uomo. **Singoli CPS** possono però presentare *limitazioni* in termini di capacità di monitoraggio/attuazione, risorse energetiche e computazionali, scalabilità e non risultare sufficienti in scenari articolati. CPSwarm ha studiato la possibilità di organizzare **CPS in gruppi o sciame** per superarne le limitazioni e realizzare applicazioni complesse. Si tratta di un cambio di paradigma. I singoli CPS vengono così dotati di IA e si organizzano in "cyber-physical systems of systems" (CPSoS): è possibile definire comportamenti cooperativi e soluzioni di swarm intelligence per affrontare e risolvere problemi complessi caratterizzati da una forte dinamicità. Si fa riferimento a robot mobili e droni autonomi organizzati in sciame, flotte di veicoli autonomi collaborativi ma anche impianti di automazione industriale innovativi.

Progettare un'applicazione che sfrutta uno sciame di CPS e programmare il relativo comportamento emergente - risultato della collaborazione tra i vari membri dello sciame - non è però affatto semplice: richiede molto tempo e l'uso di simulatori. Ciò costituisce una barriera alla progressiva adozione di un tale paradigma. In questo contesto, l'**obiettivo** di CPSwarm è stato quello di *semplificare il processo di progettazione, prototipazione, test e deployment di CPSoS sviluppando una toolchain ed una workbench completa*. Due applicazioni principali sono state prese in considerazione:

- 1- **Search & Rescue** - con droni e sistemi robotici mobili autonomi organizzati in sciame ed in grado di collaborare ed operare outdoor ed indoor (grazie all'uso della tecnologia UWB) per velocizzare le operazioni di ricerca in un generico scenario di emergenza, supportando le operazioni di soccorso.
- 2- **Swarm Logistics** - dove Autonomous Mobile Robots collaborano per spostare pacchi in uno scenario di logistica/industry 4.0 dinamico ed in presenza di operatori umani.

CPSwarm ha inoltre affrontato aspetti di comunicazione e cooperazione tra **veicoli autonomi per il trasporto merci** ed organizzati in **platoon**.

LA SOLUZIONE

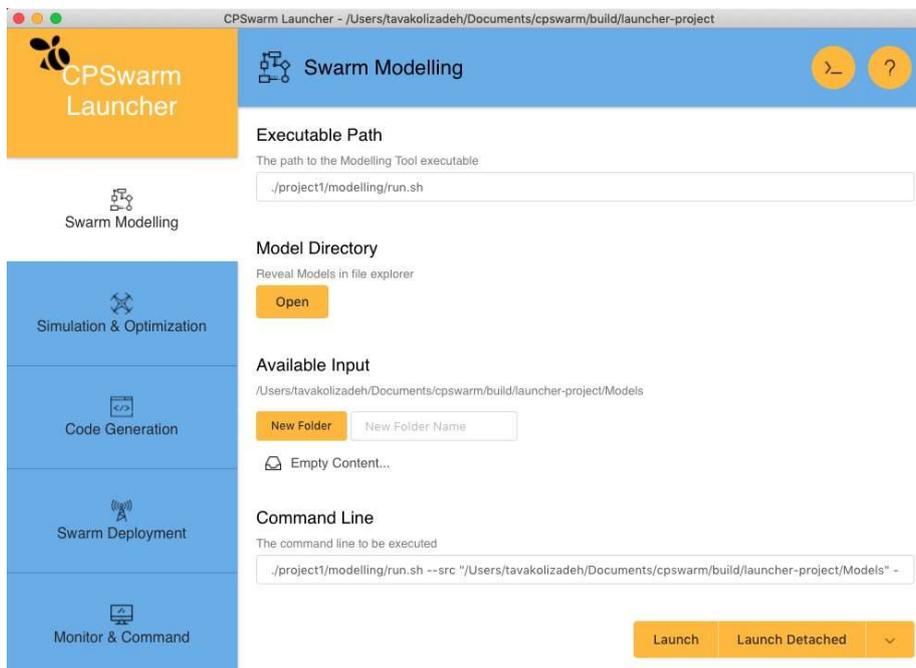
Toolchain e Workbench completa per il design e lo sviluppo di applicazioni basate sull'uso di CPS

CPSwarm ha migliorato lo stato dell'arte nella modellazione di CPS, sviluppando una metodologia ed una workbench completa, basata su modelli e approcci predittivi, per il design di CPS e sciame di CPS di prossima generazione. Il Progetto si è basato su soluzioni dello stato dell'arte in CPS e IoT e ha sviluppato un numero di strumenti prima mancanti per il design di CPSoS. CPSwarm ha affrontato i problemi integrazione di sistemi nel dominio degli sciame composti da CPS eterogenei, che collaborano sulla base di policy locali e che collettivamente esibiscono un comportamento in grado di risolvere problemi complessi, che

includono anche l'interazione con gli esseri umani ed una forte dinamicità del contesto operativo.

IL RISULTATO

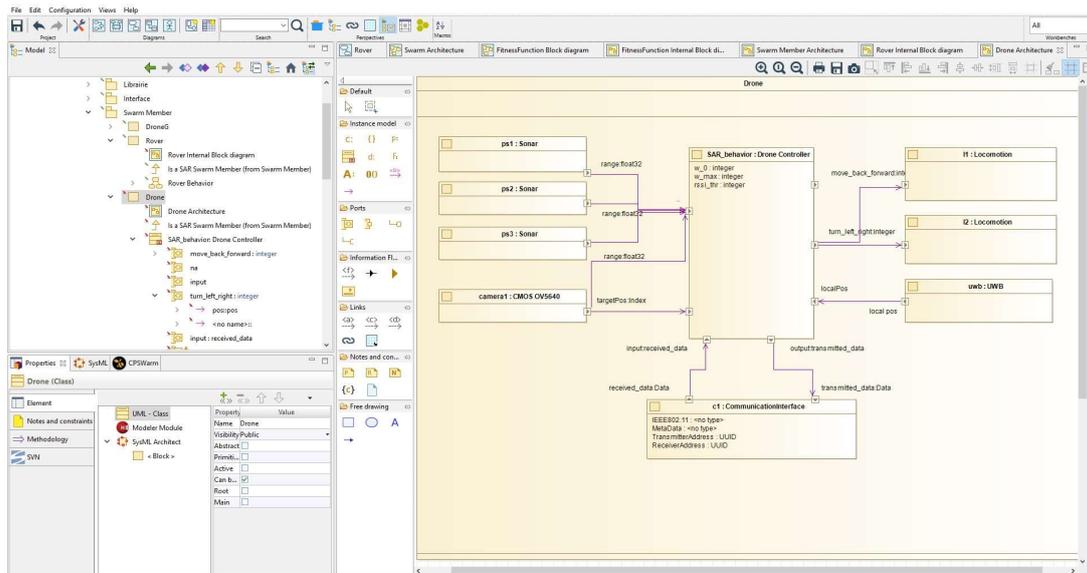
Il principale risultato è un ambiente di design e simulazione completo, denominato CPSwarm Workbench, che supporta una metodologia di design iterativa e basata su modelli per sciame di sistemi eterogenei. CPSwarm fornisce un punto unico di accesso a tutte le funzionalità offerte dalla sua Workbench: il **Launcher**. Si tratta di un componente che agisce come portale e punto di integrazione tra i vari componenti della Workbench. Il Launcher gestisce input e output dei componenti della Workbench e offre un'interfaccia per guidare l'utente attraverso i diversi step di design e configurazione dei vari tool.



CPSwarm Launcher

Per quanto riguarda la modellazione di CPSoS, la CPSwarm Workbench fornisce:

- Un **Modelling Tool** – basato su Modelio, un ambiente di modellazione open-source – che permette all'utente di modellare l'architettura e configurazione dello sciame, le caratteristiche ed i comportamenti dei singoli membri dello sciame e la funzione di costo da utilizzare per ottimizzare gli algoritmi swarm di collaborazione. A tal scopo, è stato definito ed utilizzato uno specifico linguaggio di modellazione estendendo soluzioni standard.
- Una **libreria** con un set di modelli predefinito ed estendibile da supportare il design di sciame di CPS.



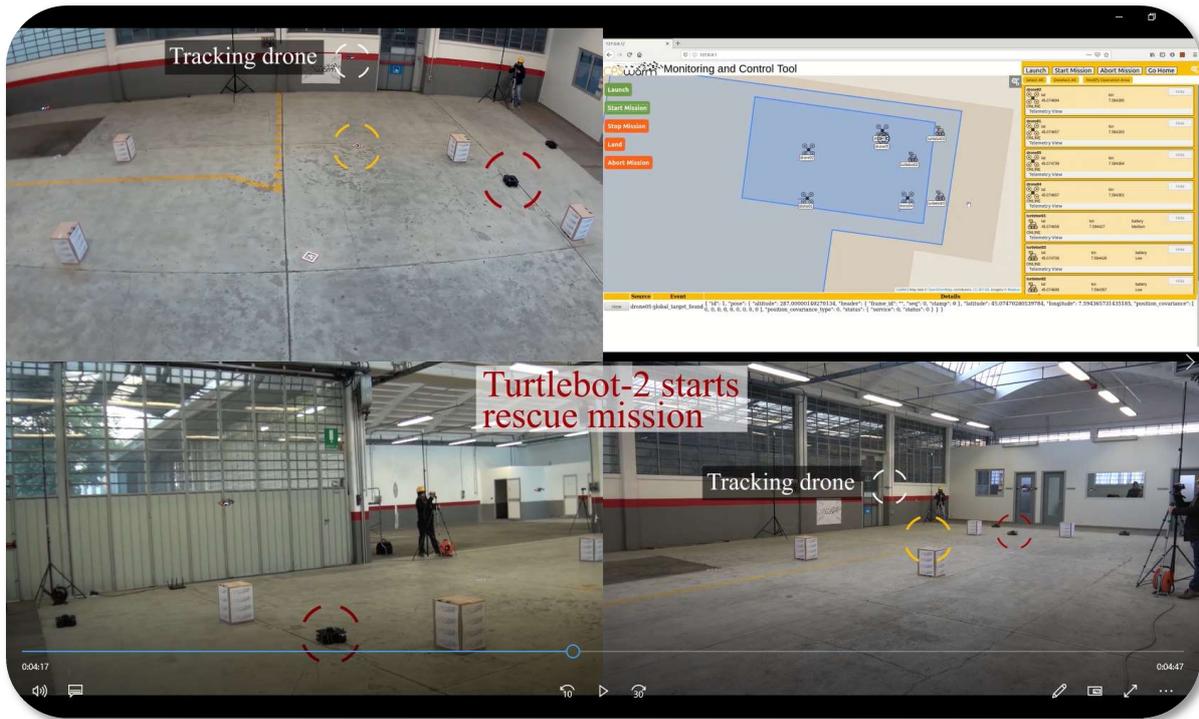
Modeling tool di CPSwarm

La Workbench comprende il **CPSwarm Simulation and Optimization Environment** che può essere usato per verificare ed ottimizzare il comportamento di uno sciame CPSoS attraverso simulazioni. CPSwarm include ed estende anche le funzionalità di FREVO, un framework open-source per l'ottimizzazione evolutiva di algoritmi, qui impiegato per ottimizzare iterativamente il comportamento dello sciame.

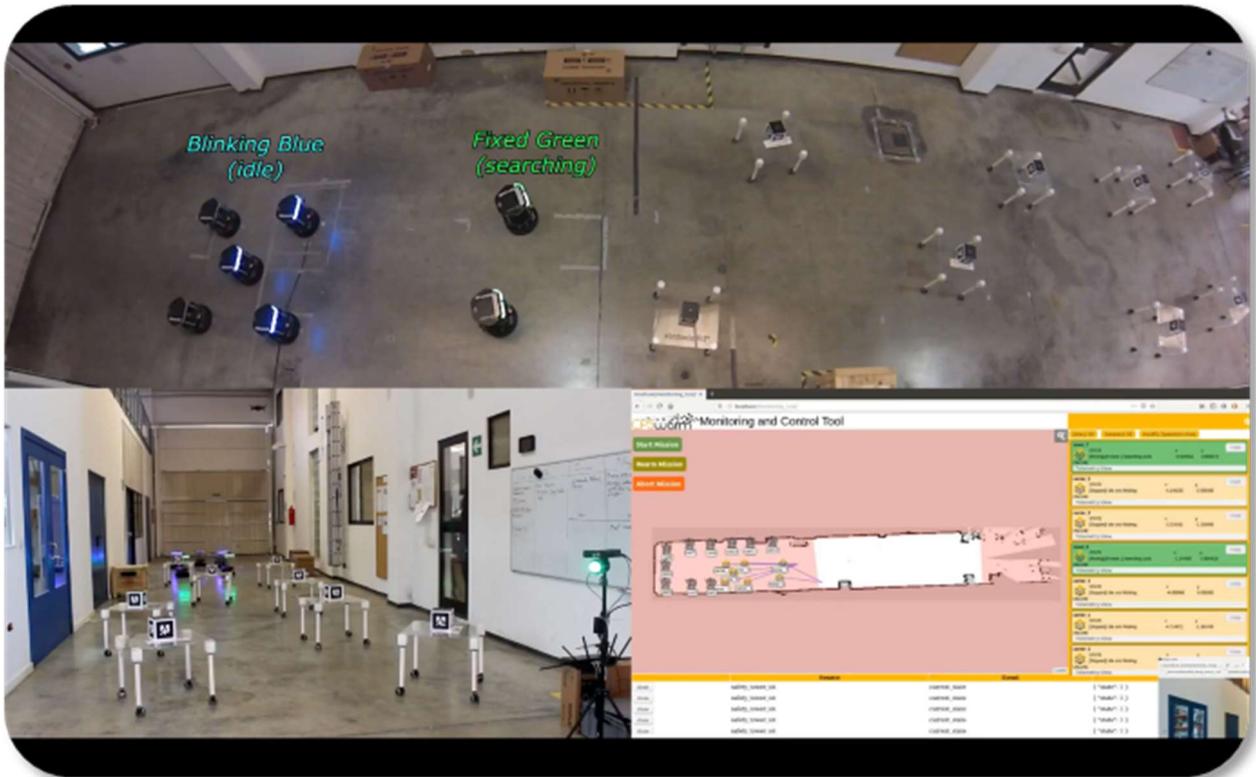
CPSwarm supporta anche la generazione automatica di codice da modelli attraverso il **CPSwarm Code Generator**. Combinando l'esperienza maturate in altri ambiti, come l'IoT, CPSwarm realizza un sostanziale passo in avanti nell'ambito degli strumenti per la generazione ed installazione di codice per CPS, con un processo quasi completamente automatico. L'utente può esportare i modelli sviluppati con il Modelling Tool, usando un formato standard, ed usarli come input per il Code Generator che automaticamente genera il codice di una macchina a stati da installare nei CPS. Nell'ambito dei CPS, diverse piattaforme HW sono state prese in considerazione inclusi droni, rover e altri tipi di robot mobili. Dal punto di vista SW, CPSwarm ha adottato **Robot Operating System** (ROS) come soluzione di riferimento, in grado di supportare le diverse piattaforme individuate.

CPSwarm va oltre lo stato dell'arte anche fornendo un **Deployment Tool** per la programmazione sicura, (semi-)automatica ed over-the-air di un numero elevato di sistemi CPS. Questo permette di semplificare la configurazione di specifiche logiche applicative in diversi CPS.

La workbench e toolchain CPSwarm è stata validata attraverso la realizzazione di dimostratori per i casi d'uso identificati: Search & Rescue e Swarm Logistics.

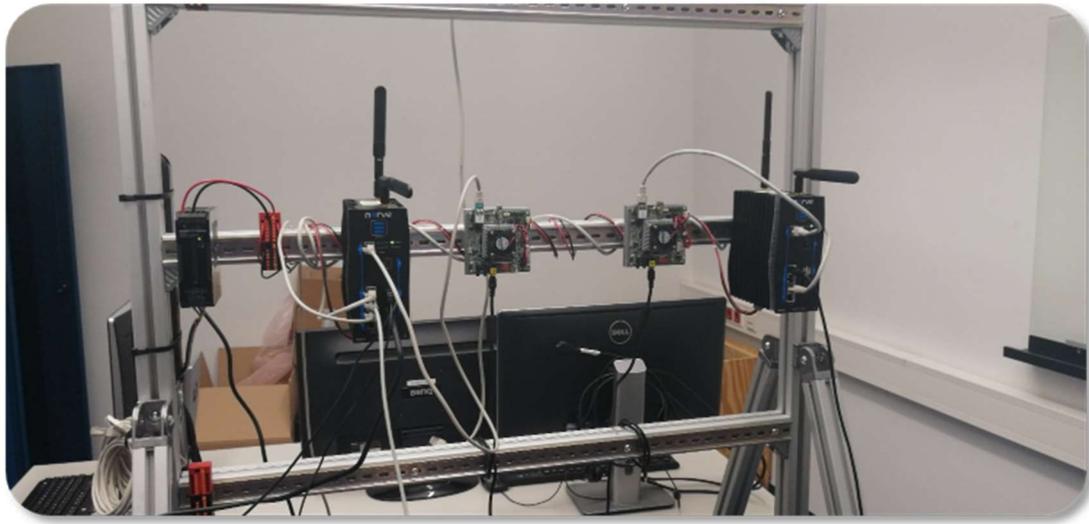


Dimostratore Search & Rescue (indoor)



Dimostratore Swarm Logistics

CPSwarm ha sviluppato anche uno stack di comunicazione wireless real-time per veicoli autonomi per il trasporto merci organizzati in platoon.



Dimostratore Platooning

POTENZIALI AREE APPLICATIVE E DI SVILUPPO

La CPSwarm Workbench e relativa toolchain è stata validata nei tre scenari di progetto e costituisce un ottimo punto di partenza per lo sviluppo di una soluzione commerciale. Può essere anche esteso ed integrato in una soluzione di digital twin per CPSoS. CPSwarm può davvero semplificare lo sviluppo di soluzioni di CPSoS innovative in diversi ambiti applicativi quali logistica, robotica di servizio e smart city. Il focus è al momento su piattaforme robotiche, rover e droni basati su ROS ma è comunque possibile estendere la soluzione sviluppata in altri ambienti operativi.