



**POLITECNICO**  
MILANO 1863

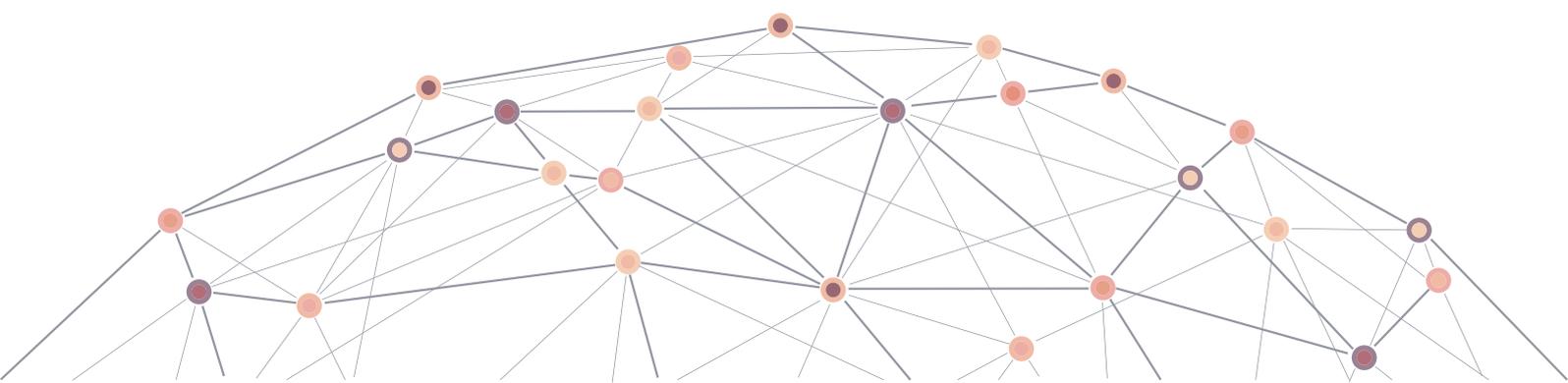
DIPARTIMENTO DI ELETTRONICA  
INFORMAZIONE E BIOINGEGNERIA



# INDUSTRIA 4.0

---

Le competenze al DEIB



# INDICE

- 1    ADVANCED MANUFACTURING SOLUTIONS**  
(Robot collaborativi interconnessi e rapidamente programmabili)
  - 1.1 Robotica collaborativa
  - 1.2 Dispositivi mecatronici per piattaforme mobili e mobile manipulator
  - 1.3 Ottimizzazione e controllo per soluzioni di processo e manifatturiere ad alta efficienza
  - 1.4 Tecniche di controllo e filtraggio
  - 1.5 Modellazione, Simulazione e Realizzazione di sistemi di controllo
  - 1.6 Robotica mobile e cooperativa
  - 1.7 Verifica formale dell'interazione tra robot ed operatori
  - 1.8 Sensori ottici per l'industria
  - 1.9 Progettazione di MEMS per Industria 4.0
  - 1.10 Riconoscimento di anomalie
  
- 2    AUGMENTED REALITY**  
(Realtà aumentata a supporto dei processi produttivi)
  - 2.1 Misure in tempo reale per veicoli autonomi
  - 2.2 Riconoscimento automatico di oggetti
  - 2.3 Videocamere ultra-sensibili
  - 2.4 Soluzioni per realtà virtuale a basso costo
  - 2.5 Sensoristica di misura
  - 2.6 Visione artificiale
  
- 3    SIMULATION**  
(Simulazione tra macchine interconnesse per ottimizzare i processi)
  - 3.1 Modellistica e simulazione di sistemi mecatronici
  - 3.2 Modellistica e simulazione di impianti di produzione
  
- 4    HORIZONTAL/VERTICAL INTEGRATION**  
(Simulazione tra macchine interconnesse per ottimizzare i processi)
  - 4.1 Digitalizzazione in Industria 4.0
  - 4.2 Analisi di robustezza dei processi
  
- 5    INDUSTRIAL INTERNET**  
(Comunicazione multidirezionale tra processi produttivi e prodotti)
  - 5.1 Sistemi distribuiti, localizzazione e tracciamento
  - 5.2 Protocolli di comunicazione per IoT

- 5.3 Sviluppo di software per sistemi IoT
- 5.4 Sviluppo di sistemi IoT robusti
- 5.5 Sviluppo di Middleware per sistemi IoT adattativi

## 6 CLOUD

(Gestione di elevate quantità di dati su sistemi aperti)

- 6.1 Riduzione consumo energetico per sistemi in cloud
- 6.2 Dimensionamento sistemi in cloud
- 6.3 Progettazione soluzioni per cloud computing
- 6.4 Analisi delle prestazioni di sistemi in cloud
- 6.5 Integrazione tra cloud, edge e fog computing

## 7 CYBER-SECURITY

(Sicurezza durante le operazioni in rete e su sistemi aperti)

- 3.1 Sicurezza industriale
- 3.2 Sistemi crittografici per Industria 4.0

## 8 BIG DATA AND ANALYTICS

(Robot collaborativi interconnessi e rapidamente programmabili)

- 8.1 Modellizzazione e predizione di performance
- 8.2 Analisi dei dati per progettazione di sistemi di controllo
- 8.3 Analisi di dati per applicazioni Healthcare
- 8.4 Riconoscimento di anomalie
- 8.5 Sviluppo ed analisi di recommender systems
- 8.6 Sistemi per lo stream reasoning
- 8.7 Gestione di dati pervasivi basata sul contesto
- 8.8 Machine Learning per Industria 4.0
- 8.9 Verifica formale di sistemi Big Data
- 8.10 Analisi delle prestazioni di sistemi Big Data
- 8.11 Analisi dei dati da social networks

# ABSTRACT

Il presente documento raccoglie le attività e le competenze dei gruppi di ricerca del Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria in ambito Industria 4.0. Le attività e le competenze sono classificate sulla base delle nove categorie definite dal Piano Nazionale Industria 4.0 del Ministero dello Sviluppo Economico (MISE) del 16/1/2017 e riportate qui di seguito:

- *Advanced Manufacturing Solutions*: Robot collaborativi interconnessi e rapidamente programmabili
- *Additive Manufacturing*: Stampanti in 3D connesse a software di sviluppo digitali
- *Augmented Reality*: Realtà aumentata a supporto dei processi produttivi
- *Simulation*: Simulazione tra macchine interconnesse per ottimizzare i processi
- *Horizontal/ Vertical Integration*: Integrazione informazioni lungo la catena del valore dal fornitore al consumatore
- *Industrial Internet*: Comunicazione multidirezionale tra processi produttivi e prodotti
- *Cloud*: Gestione di elevate quantità di dati su sistemi aperti
- *Cyber-security*: Sicurezza durante le operazioni in rete e su sistemi aperti
- *Big Data and Analytics*: Analisi di un'ampia base dati per ottimizzare prodotti e processi produttivi

Ogni attività elencata nel presente documento è caratterizzata da un titolo (indicativo), una breve descrizione, una serie di risultati ottenuti dal punto di vista del trasferimento tecnologico e/o scientifico e dall'elenco del personale DEIB responsabile dell'attività stessa, con indicazione della area di ricerca di afferenza (Informatica, Automatica, Informatica, Bioingegneria, Elettronica, Elettrica).



# ADVANCED MANUFACTURING SOLUTIONS

---

Robot collaborativi interconnessi  
e rapidamente programmabili

## 1.1 Robotica collaborativa

### 1.1.1 Descrizione competenza

La competenza riguarda la robotica collaborativa e, specificatamente, la capacità di progettare soluzioni per l'interazione sicura e produttiva uomo-robot, avvalendosi di sensori (di visione, di distanza, di contatto) e modificando in tempo reale e in modo reattivo il moto del manipolatore robotico, sfruttando anche la ridondanza cinematica dei robot collaborativi di nuova generazione. Sono anche inclusi la realizzazione di sistemi di *manual guidance* (collaborazione fisica uomo-robot) per la programmazione rapida e semplificata di robot industriali e lo sviluppo di metodi per migliorare l'esecuzione coordinata di compiti di precisione.

### 1.1.2 Risultati ottenuti

Prototipo di cella robotica sensorizzata con telecamere di sorveglianza e sensori di visione 3D. Prototipo di sensore di distanza distribuito. Varie dimostrazioni eseguite in laboratorio con video a supporto. Setup dimostrativo di compiti di collaborazione con riconoscimento delle intenzioni dell'utente. Trasferimento tecnologico verso produttori di robot. Creazione di una impresa *spin-off* per portare sul mercato una soluzione (hardware e software) per l'interazione sicura e produttiva con i robot industriali.

### 1.1.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Paolo Rocco, area di ricerca in Automatica  
Andrea Maria Zanchettin, area di ricerca in Automatica  
Luca Bascetta, area di ricerca in Automatica  
Gianantonio Magnani, area di ricerca in Automatica  
Gianni Ferretti, area di ricerca in Automatica  
Elena De Momi, area di ricerca in Bioingegneria  
Giancarlo Ferrigno, area di ricerca in Bioingegneria

## 1.2 Dispositivi meccatronici per piattaforme mobili e mobile manipulator

### 1.2.1 Descrizione competenza

Modellistica e simulazione, sviluppo di algoritmi di pianificazione, controllo e percezione per navigazione e manipolazione, sviluppo di architetture software per piattaforme mobili e *mobile manipulator* per applicazioni indoor (industriali, logistica, etc.) e outdoor (logistica, agricoltura, etc.). Progettazione, simulazione e controllo di dispositivi meccatronici per piattaforme mobili e *mobile manipulator* (sistemi di movimentazione, manipolazione, ricarica, etc.)

### 1.2.2 Risultati ottenuti

Realizzazione di prototipi e dimostratori in grado di navigare in modo autonomo in ambienti complessi. Sviluppo di sistemi completi per la navigazione e manipolazione *indoor/outdoor*. Partecipazione a progetti europei e a progetti finanziati da enti pubblici e privati.

### 1.2.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Luca Bascetta, area di ricerca in Automatica  
Marcello Farina, area di ricerca in Automatica  
Gianni Ferretti, area di ricerca in Automatica  
Giambattista Grusso, area di ricerca in Elettrica  
Matteo Matteucci, area di ricerca in Informatica  
Maria Prandini, area di ricerca in Automatica



## 1.3 Ottimizzazione e controllo per soluzioni di processo e manifatturiere ad alta efficienza

### 1.3.1 Descrizione competenza

Sviluppo di sistemi di controllo avanzato e ibrido per la ottimizzazione di soluzioni di processo e manifatturiere ad alta efficienza.

Ottimizzazione di problemi di *scheduling* e *routing* nei processi manifatturieri con tecniche di controllo predittivo. Gestione e controllo di impianti industriali per l'efficienza energetica.

### 1.3.2 Risultati ottenuti

Realizzazione di un sistema di controllo ottimo predittivo di una linea di trasporto pallet di un impianto pilota manifatturiero.

Progetto e implementazione di un sistema di controllo multivariabile di un impianto industriale di raffreddamento acque, volto alla riduzione dei consumi energetici.

### 1.3.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Riccardo Scattolini, area di ricerca in Automatica

Marcello Farina, area di ricerca in Automatica

Lorenzo Fagiano, area di ricerca in Automatica

## 1.4 Tecniche di controllo e filtraggio

### 1.4.1 Descrizione competenza

Tecniche di controllo e filtraggio basate su ottimizzazione numerica in *real-time* (*Model Predictive Control*, *Moving Horizon Estimation*), tecniche di controllo e filtraggio diretto dai dati (*direct feedback control*, *direct virtual sensors*). Strumenti HW/SW di prototipazione rapida di sistemi di controllo.

### 1.4.2 Risultati ottenuti

Realizzazione di algoritmi di identificazione e riconoscimento automatici di motori a induzione dalla firma elettrica (correnti e tensioni di statore): algoritmi testati su dati sperimentali, brevetto in fase di deposito.

Diversi prototipi di sistemi di controllo realizzati negli anni con *tool* di prototipazione rapida (dSpace, xPC Target, Simulink RealTime).

### 1.4.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Lorenzo Fagiano, area di ricerca in Automatica



## 1.5 Modellazione, Simulazione e Realizzazione di sistemi di controllo

### 1.5.1 Descrizione competenza

Il gruppo si occupa di modellistica, simulazione e implementazione di sistemi hardware e software per il controllo di macchine e processi meccatronici con attenzione verso:

- controllo distribuito
- raccolta e analisi dati
- modellistica e generazione automatica del codice per sistemi di controllo
- simulazione *Hardware in The loop* per sistemi meccatronici

### 1.5.2 Risultati ottenuti

Le attività descritte sono oggetto di contratti di ricerca in corso o conclusi i cui output sono disponibili per ulteriori implementazioni. Il laboratorio dispone di una serie di moduli hardware per il controllo distribuito e la raccolta dei dati, oltre ad algoritmi per l'analisi dell'efficienza energetica e la manutenzione predittiva di sistemi elettrici.

### 1.5.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Giambattista Grusso, area di ricerca in Elettrica  
Federico Bizzarri, area di ricerca in Elettrica  
Giancarlo Storti Gajani, area di ricerca in Elettrica  
Luca Bascetta, area di ricerca in Automatica  
Angelo Brambilla, area di ricerca in Elettrica

## 1.6 Robotica mobile e cooperativa

### 1.6.1 Descrizione competenza

Robotica mobile e cooperativa (progettazione robot e sistema, simulazione, *Simultaneous Localization and Mapping - SLAM, benchmarking, HW/SW rapid programming, Human-Robot Interaction*).

### 1.6.2 Risultati ottenuti

Sistemi HW/SW di programmazione rapida di robot interconnessi e *data integration* (Spinoff: NovaLabs).

*Forklift* automatici per *loading* e *unloading* di pallet con manipolatori mobili: proposta industriale e singolo manipolatore sviluppato.

### 1.6.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Andrea Bonarini, area di ricerca in Informatica  
Matteo Matteucci, area di ricerca in Informatica  
Marcello Restelli, area di ricerca in Informatica  
Francesco Amigoni, area di ricerca in Informatica  
Pierluca Lanzi, area di ricerca in Informatica  
Daniele Loiacono, area di ricerca in Informatica



## 1.7 Verifica formale dell'interazione tra robot ed operatori

### 1.7.1 Descrizione competenza

Sfruttamento di tecniche di verifica formale per l'analisi delle interazioni tra robot e operatori in applicazioni di *Human-Robot Collaboration*.

### 1.7.2 Risultati ottenuti

*Proof of Concept* di un sistema di verifica formale, denominato SAFER-HRC.

### 1.7.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Matteo Rossi, area di ricerca in Informatica  
Dino Mandrioli, area di ricerca in Informatica

## 1.8 Sensori ottici per l'industria

### 1.8.1 Descrizione competenza

Sviluppo di una piattaforma di misura basata su sensori a fibra ottica di tipo coerente capace di eseguire sia misure dirette che indirette di parametri di processo industriale. La piattaforma si integra con i *layer* superiori di "data" e di rete per applicazioni *Cloud-based* di *Big Data analysis*.

### 1.8.2 Risultati ottenuti

Dimostratori e prototipi della piattaforma installati presso aziende manifatturiere del settore "food and packaging" e del settore "macchine utensili".  
Brevetti e una impresa spin-off del Politecnico nata per ingegnerizzare la piattaforma (COHAERENTIA, [www.cohaerentia.com](http://www.cohaerentia.com)).

### 1.8.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Mario Martinelli, area di ricerca in Telecomunicazioni  
Pierpaolo Boffi, area di ricerca in Telecomunicazioni  
Paolo Martelli, area di ricerca in Telecomunicazioni



## 1.9 Progettazione di MEMS per Industria 4.0

### 1.9.1 Descrizione competenza

Progettazione sensori MEMS per il cosiddetto "*condition monitoring*" ossia il monitoraggio delle condizioni di una macchina usata in processi industriali, tramite analisi dei suoi movimenti e vibrazioni, per deduzione anticipata di possibili *failure*, e sostituzione anticipata delle parti in procinto di fallire.

### 1.9.2 Risultati ottenuti

Prototipi e dimostratori MEMS con prestazioni tali da sostituirsi, grazie a prestazioni superiori in termini di frequenze operative, costo e compattezza, agli attuali sensori (ad esempio piezoresistivi).

### 1.9.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Giacomo Langfelder, area di ricerca in Elettronica

## 1.10 Riconoscimento di anomalie

### 1.10.1 Descrizione competenza

Algoritmi e tecniche di analisi/elaborazione di immagini (RGB, RGB-D, SEM, X-Ray) finalizzati all'individuazione di anomalie e alla classificazione (es. individuazione di difetti, di sostanze pericolose, cambiamenti di processo).

### 1.10.2 Risultati ottenuti

Software per individuare difetti nella produzione di nanofibre (immagini SEM). Progetto per una macchina prototipale del CNR. Algoritmi per analizzare dati ad alta dimensionalità ed immagini per controllo qualità nella produzione chip (dottorato sponsorizzato da ST Microelectronics). Software per analizzare e classificare immagini a raggi X nei controlli aeroportuali (con Gilardoni Raggi X).

### 1.10.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Giacomo Boracchi, area di ricerca in Informatica





## AUGMENTED REALITY

---

Realtà aumentata a supporto dei  
processi produttivi

## 2.1 Misure in tempo reale per veicoli autonomi

### 2.1.1 Descrizione competenza

Utilizzo dei veicoli senza pilota (*unmanned vehicles*) per la gestione delle scorte di magazzino, la fornitura di ricambi, l'ispezione e il monitoraggio dei macchinari usati nella lavorazione dei prodotti in ambito industriale. I veicoli senza pilota sono in grado di ricevere le misure di parametri critici da sensori installati sui macchinari per la lavorazione dei prodotti. La misura avviene in tempo reale mediante lettura in prossimità (fly-by) con comunicazione radio. Questo consente di effettuare una manutenzione di tipo predittivo e di avere costantemente sotto controllo lo stato di funzionamento e scorte con la possibilità di intervenire in tempi rapidi.

### 2.1.2 Risultati ottenuti

Prototipo hardware di un gateway mobile per la raccolta dei dati, la memorizzazione e la trasmissione in tempo reale. Il prototipo si basa sull'impiego di software open source e di hardware commerciale come, ad esempio, Arduino e Raspberry Pi, sviluppato nell'ambito dei seguenti progetti EIT:

- EIT Digital High Impact Initiative Project "ACTIVE (Advanced Connectivity platform for Vertical segments)" dal 1/1/2016 al 31/12/2016
- EIT Digital Project "Cloud4Drones" dal 1/1/2017 al 31/12/2017

### 2.1.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Maurizio Magarini, area di ricerca in Telecomunicazioni  
Arnaldo Spalvieri, area di ricerca in Telecomunicazioni  
Giacomo Verticale, area di ricerca in Telecomunicazioni

## 2.2 Riconoscimento automatico di oggetti

### 2.2.1 Descrizione competenza

Sviluppo di una piattaforma per la ricerca visuale basata sullo standard MPEG CDVS (*Compact Descriptors for Visual Search*). Tramite tale piattaforma è possibile riconoscere un oggetto acquisito con una telecamera all'interno di un vasto database di immagini di oggetti precedentemente acquisiti. Il sistema sviluppato, grazie all'impiego di descrittori di immagine robusti a variazioni di posa, illuminazione e dispositivo di acquisizione, è in grado di riconoscere un oggetto anche se acquisito in contesti e da punti di vista fortemente diversi da quelli utilizzati nella fase di acquisizione del database. Il sistema sviluppato risulta essere particolarmente adatto al riconoscimento automatico di oggetti e utensili da parte di robot.

### 2.2.2 Risultati ottenuti

Dimostratori che consentono di verificare l'efficacia del sistema proposto in diversi contesti di utilizzo industriale.

### 2.2.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Stefano Tubaro, area di ricerca in Telecomunicazioni  
Marco Marcon, area di ricerca in Telecomunicazioni



## 2.3 Videocamere ultra-sensibili

### 2.3.1 Descrizione competenza

Sensoristica e videocamere ultra-sensibili per visione 2D in scarsa illuminazione di processi produttivi o per mappatura 3D (distanza spaziale) di oggetti per automazione industriale e robotica, con minimizzazione della necessaria illuminazione attiva della scena.

### 2.3.2 Risultati ottenuti

Prototipi di sensori e di videocamere, per l'acquisizione a singolo punto o bidimensionale (2D) o anche con misurazione della distanza degli oggetti (3D), con link USB3.0 ed interfaccia grafica per acquisizione ed elaborazione delle immagini e dei video. Dimostratori già disponibili. Possibilità di trasferimento tecnologico di sensoristica per la realtà aumentata.

### 2.3.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Franco Zappa, area di ricerca in Elettronica  
Alberto Tosi, area di ricerca in Elettronica  
Federica Villa, area di ricerca in Elettronica

## 2.4 Soluzioni per realtà virtuale a basso costo

### 2.4.1 Descrizione competenza

Realizzazione di strumenti di realtà virtuale a basso costo.

### 2.4.2 Risultati ottenuti

Creazione di prototipi per il training e la fruizione di servizi e contenuti attraverso la realtà virtuale con tecnologie a basso costo.

### 2.4.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Marco Gribaudo, area di ricerca in Informatica  
Giuseppe Serazzi, area di ricerca in Informatica



## 2.5 Sensoristica di misura

### 2.5.1 Descrizione competenza

Integrazione di Sensoristica di misura e sistemi optoelettronici. Progettazione di strumentazione personalizzate e sistemi automatizzati di misura e gestione.

### 2.5.2 Risultati ottenuti

Sono stati sviluppati diversi sensori innovativi per reali applicazioni industriali, alcuni brevettati, specialmente in ambito optoelettronico, tra i quali spiccano sensori ottici di distanza, velocità, vibrazione e flusso, sistemi di sicurezza attiva, sistemi di diagnostica industriale. Diversi centri accreditati impiegano sistemi automatizzati di taratura da noi sviluppati.

### 2.5.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Cesare Svelto, Area di ricerca in Ingegneria Elettrica  
Michele Norgia, Area di ricerca in Ingegneria Elettrica  
Alessandro Pesatori, Area di ricerca in Ingegneria Elettrica

## 2.6 Visione artificiale

### 2.6.1 Descrizione competenza

Visione artificiale e sensori (controllo qualità, world model).

### 2.6.2 Risultati ottenuti

*3D reconstruction* e SLAM: sistemi sviluppati, progetti EU su *benchmarking*, proposta industriale VR.

### 2.6.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Andrea Bonarini, area di ricerca in Informatica  
Matteo Matteucci, area di ricerca in Informatica  
Marcello Restelli, area di ricerca in Informatica  
Francesco Amigoni, area di ricerca in Informatica  
Pierluca Lanzi, area di ricerca in Informatica  
Daniele Loiacono, area di ricerca in Informatica





## SIMULATION

---

Simulazione tra macchine  
interconnesse per ottimizzare i  
processi

## 3.1 Modellistica e simulazione di sistemi mecatronici

### 3.1.1 Descrizione competenza

Il gruppo di ricerca vanta una più che ventennale esperienza nella modellistica di sistemi mecatronici, in particolare mediante l'utilizzo di tecniche e strumenti object oriented. Numerosi i casi applicativi studiati: dai veicoli, ai robot industriali, alle macchine utensili. Ultimamente il gruppo ha acquisito una notevole competenza sulla modellistica della flessibilità distribuita.

### 3.1.2 Risultati ottenuti

I principali output sono costituiti da pubblicazioni scientifiche e modelli numerici di simulazione dinamica di vari sistemi mecatronici: veicoli off road (trattori agricoli e ATV), on road (motociclette e biciclette), sistemi robotici industriali e spaziali (mobili e fissi), macchine utensili.

### 3.1.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Gianni Ferretti, area di ricerca in Automatica  
Paolo Rocco, area di ricerca in Automatica  
Gianantonio Magnani, area di ricerca in Automatica  
Alberto Leva, area di ricerca in Automatica  
Francesco Casella, area di ricerca in Automatica

## 3.2 Modellistica e simulazione di impianti di produzione

### 3.2.1 Descrizione competenza

Modellizzazione, controllo e simulazione di impianti di produzione, ottimizzazione dei flussi di produzione, diagnostica e manutenzione predittiva.

### 3.2.2 Risultati ottenuti

Maturità alta: modelli cinematici e sviluppo di ambienti di simulazione 3D di sistemi di lavorazione e assemblaggio. Simulazione *HW/SW-in-the-loop*. Sviluppo di algoritmi di ottimizzazione dei flussi produttivi e *scheduling* ottimo.  
Maturità media: monitoraggio e diagnosi dei guasti elettromeccanici nei sistemi di produzione. Sviluppo di algoritmi di *condition monitoring* e manutenzione predittiva.

### 3.2.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Luca Ferrarini, area di ricerca in Automatica





## **HORIZONTAL VERTICAL INTEGRATION**

---

Integrazione informazioni lungo la  
catena del valore dal fornitore al  
consumatore

## 4.1 Digitalizzazione in Industria 4.0

### 4.1.1 Descrizione competenza

Innovazione digitale in ambito *Industry4.0* con focus su digitalizzazione dei processi e monitoraggio e controllo della produzione e della qualità in stabilimento. Competenze di *governance* di iniziative I4.0 con approccio a Ecosistema.

### 4.1.2 Risultati ottenuti

Soluzione end-to-end con *retrofitting* di una linea produttiva di *whitegoods* per la digitalizzazione della gestione della qualità e della produzione. Maturità: PILOTA.  
Soluzione di monitoraggio per grandi stampanti industriali per visualizzazione di KPI e eventi tramite *dashboards*. Maturità: PILOTA.  
Soluzione di monitoraggio della componentistica in linea di montaggio *automotive* e della collaborazione uomo-macchina. Maturità: PILOTA.

### 4.1.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Alfonso Fuggetta, area di ricerca in Informatica/CEFRIEL  
Mirco Masa, CEFRIEL  
Nadia Scandelli, CEFRIEL

## 4.2 Analisi di robustezza dei processi

### 4.2.1 Descrizione competenza

Robustezza e *safety* dei processi rispetto ai dati utilizzati. Applicazioni su *cloud* e ambienti misti *cloud/edge/fog*: studio dell'efficienza energetica, dell'allocazione e movimento dei dati (anche di monitoraggio). Analisi di dati da *social network*, *business intelligence* e *predictive analytics*.

### 4.2.2 Risultati ottenuti

Prototipi di:

- analisi di robustezza e *safety* di processi (con dimostrazioni)
- identificazione delle dipendenze tra indicatori e interferenze tra processi
- profilazione e *eco-report* di applicazioni
- profilazione dei dati e *data movement*
- analisi di *Tweet* e loro geolocalizzazione

Dimostrazioni e trasferimento tecnologico di strumenti per l'analisi di dati aziendali.

### 4.2.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Barbara Pernici, area di ricerca in Informatica  
Chiara Francalanci, area di ricerca in Informatica  
Mariagrazia Fugini, area di ricerca in Informatica  
Cinzia Cappiello, area di ricerca in Informatica  
Pierluigi Plebani, area di ricerca in Informatica





## INDUSTRIAL INTERNET

---

Comunicazione multidirezionale  
tra processi produttivi e prodotti

## 5.1 Sistemi distribuiti, localizzazione e tracciamento

### 5.1.1 Descrizione competenza

Sviluppo di sistemi wireless cooperativi ad alta densità per applicazioni Internet of Things (IoT) finalizzate al monitoraggio e controllo industriale: tecniche di elaborazione distribuita per l'auto-coordinamento dei dispositivi interconnessi in rete (sincronizzazione, rilevamento e gestione dell'interferenza, gestione della connettività, etc.); localizzazione e tracciamento distribuito, sia di entità singole (es. operatori, veicoli o merci) che aggregati (flussi/densità di traffico) per la mobilità intelligente (es. *Internet of Vehicles*, IoV).

### 5.1.2 Risultati ottenuti

Dimostratore di un sistema di comunicazione e storage distribuito, a bassa latenza, compatibile con lo standard industriale WirelessHart, per il monitoraggio e controllo industriale, sviluppato nell'ambito del progetto Europeo FP7-DIWINE.

Dimostratore di un sistema IoT per il monitoraggio wireless di un impianto di raffineria, sviluppato in collaborazione con SAIPEM.

### 5.1.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Umberto Spagnolini, area di ricerca in Telecomunicazioni  
Monica Nicoli, area di ricerca in Telecomunicazioni

## 5.2 Protocolli di comunicazione per IoT

### 5.2.1 Descrizione competenza

Realizzazione ed integrazione di protocolli di comunicazione per l'Internet degli oggetti.  
Integrazione di sistemi per il monitoraggio ambientale in ambito industriale basati sull'Internet degli oggetti.

### 5.2.2 Risultati ottenuti

Dimostratore di sistema di localizzazione persone e trasferimento dati presso IoT Lab, Peschiera Borromeo.  
Progetto Europeo GreenEyes (Open FET) su sviluppo di soluzioni per analisi visuale (riconoscimento volti, oggetti, pattern) per reti di sensori. Progetto concluso, dimostratore disponibile.

### 5.2.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Matteo Cesana, area di ricerca in Telecomunicazioni  
Alessandro E. Redondi, area di ricerca in Telecomunicazioni  
Antonio Capone, area di ricerca in Telecomunicazioni  
Ilario Filippini, area di ricerca in Telecomunicazioni



## 5.3 Sviluppo di software per sistemi IoT

### 5.3.1 Descrizione competenza

Progettazione, sviluppo e *deployment* di software per sistemi *embedded interconnessi* tra loro e con Internet.

Progettazione, sviluppo, e *deployment* di protocolli di comunicazione *wireless* a basso consumo energetico, inclusi scenari con requisiti real-time e di controllo ad anello chiuso.

Progettazione, sviluppo e *deployment* di sistemi *Internet of Things*, inclusi dispositivi statici e robot collaborativi.

### 5.3.2 Risultati ottenuti

Voltron programming system for coordinating drones (open-source prototype, two real-world deployments).

Low-power wireless bus communication protocol (open-source prototype, two real-world deployments).

pTunes low-power wireless MAC adaptation (open-source prototype).

### 5.3.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Luca Mottola, area di ricerca in Informatica

## 5.4 Sviluppo di sistemi IoT robusti

### 5.4.1 Descrizione competenza

Sviluppo di sistemi IoT intelligenti e robusti basati su meccanismi caratteristici del processo cognitive umano.

### 5.4.2 Risultati ottenuti

Prototipi di sistemi *embedded* operanti in ambienti ostili e critici.

Le attività in questo ambito sono sviluppate sia a livello accademico, che in stretta collaborazione con PMI e grosse aziende.

### 5.4.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Cesare Alippi, area di ricerca in Informatica

Manuel Roveri, area di ricerca in Informatica



## 5.5 Sviluppo di Middleware per sistemi IoT adattativi

### 5.5.1 Descrizione competenza

Infrastrutture software (middleware) per consentire/favorire la comunicazione tra i diversi elementi di un sistema distribuito. Quindi di integrazione, ad esempio, attraverso architetture di servizi, di IoT e di cloud.

Sistemi adattativi (self-\*) per consentire una interazione/comunicazione che fornisca certe garanzie.

Simulazione unendo vari elementi reali (modellati con Matlab o Modelica) e modelli delle componenti software.

### 5.5.2 Risultati ottenuti

Il gruppo produce prototipi disponibili come software open-source. I prototipi sviluppati per il monitoraggio di applicazioni a servizi, cloud e IoT sono disponibili e funzionanti. Per il trasferimento tecnologico, chiaramente va individuato il settore specifico.

### 5.5.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Luciano Baresi, area di ricerca in Informatica

Sam Guinea, area di ricerca in Informatica





## CLOUD

---

Gestione di elevate quantità  
di dati su sistemi aperti

## 6.1 Riduzione consumo energetico per sistemi in cloud

### 6.1.1 Descrizione competenza

Valutazione delle prestazioni di sistemi complessi, con particolare attenzione al cloud, ai Big Data e alla riduzione del consumo energetico.

### 6.1.2 Risultati ottenuti

Collaborazione alla realizzazione del Tool JMT (Java Modeling Tool), strumento con avanzato grado di maturità.

### 6.1.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Marco Gribaudo, area di ricerca in Informatica  
Giuseppe Serazzi, area di ricerca in Informatica

## 6.2 Dimensionamento sistemi in cloud

### 6.2.1 Descrizione competenza

Dimensionamento di sistemi *Cloud*.  
Modelli e strumenti per il corretto dimensionamento di infrastrutture *Cloud*.

### 6.2.2 Risultati ottenuti

Numerose domande di brevetto sia in ambito Cloud che in ambito Recommender Systems.  
Creazione di start-up che operano con successo da più di 10 anni nel mercato dei recommender systems (ContentWise) e del dimensionamento di sistemi Cloud (Moviri).  
Partecipazione a progetti Europei focalizzati sul trasferimento tecnologico (EIT Digital).  
Collaborazioni con grandi aziende del settore (tra cui, British Telecom, TIM).

### 6.2.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Paolo Cremonesi, area di ricerca in Informatica



## 6.3 Progettazione soluzioni per cloud computing

### 6.3.1 Descrizione competenza

Lavoro nell'ambito dell'ingegneria del software e quindi mi occupo della progettazione di sistemi complessi, costruiti dall'integrazione di tante parti spesso preesistenti. Negli ultimi anni ho lavorato in progetti europei in cui abbiamo sviluppato approcci a supporto della progettazione di applicazioni per il cloud computing e dello sviluppo di applicazioni Data Intensive.

### 6.3.2 Risultati ottenuti

Tower4Clouds: sistema di monitoraggio per sistemi distribuiti installati su diversi cloud. Stato di maturità: prototipo consolidato e già usato in altri progetti.

Hegira4Clouds: sistema per la migrazione di dati tra diversi database NoSQL. Prototipo.

DICER: sistema per la progettazione, la configurazione e la creazione automatica di deployment blueprint per applicazioni data intensive. Prototipo in corso di sviluppo.

### 6.3.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Elisabetta Di Nitto, area di ricerca in Informatica

## 6.4 Analisi delle prestazioni di sistemi in cloud

### 6.4.1 Descrizione competenza

Analisi delle prestazioni e dimensionamento di sistemi cloud e big data. Gestione delle risorse a runtime con l'obiettivo della minimizzazione dei costi operativi dell'infrastruttura con vincoli sulle prestazioni delle applicazioni.

### 6.4.2 Risultati ottenuti

Sono stati sviluppati tool prototipali nell'ambito di alcuni progetti europei (MODAClouds, DICE e EUBRA-BIGSEA):

- I tool per l'analisi delle prestazioni e dimensionamento hanno un buon livello di maturità e sono open source:

<https://github.com/deib-polimi/modaclouds-space4cloud>

<https://github.com/dice-project/DICE-Optimisation-Plugin>

<https://github.com/dice-project/DICE-Optimisation-Back-End>

<https://github.com/dice-project/DICE-Optimisation-Front-End>

- I tool per la gestione delle applicazioni a runtime sono stati rilasciati a Settembre 2017 e sono open source:

[https://github.com/eubr-bigsea/OPT\\_IC\\_WS](https://github.com/eubr-bigsea/OPT_IC_WS)

[https://github.com/eubr-bigsea/OPT\\_Deadline](https://github.com/eubr-bigsea/OPT_Deadline)

[https://github.com/eubr-bigsea/OPT\\_IC](https://github.com/eubr-bigsea/OPT_IC)

[https://github.com/eubr-bigsea/opt\\_jr](https://github.com/eubr-bigsea/opt_jr)

- I tool integrano modelli di simulazione e machine learning e tecniche di ottimizzazione.

### 6.4.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Danilo Ardagna, area di ricerca in Informatica



## 6.5 Integrazione tra cloud, edge e fog computing

### 6.5.1 Descrizione competenza

Applicazioni su cloud e ambienti misti cloud/edge/fog: studio dell'efficienza energetica, dell'allocazione e movimento dei dati (anche di monitoraggio).

### 6.5.2 Risultati ottenuti

Profilazione e eco-report di applicazioni.  
Profilazione dei dati e data movement.

Dimostrazioni e trasferimento tecnologico di strumenti per l'analisi di dati aziendali.

### 6.5.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Barbara Pernici, area di ricerca in Informatica  
Chiara Francalanci, area di ricerca in Informatica  
Mariagrazia Fugini, area di ricerca in Informatica  
Cinzia Cappiello, area di ricerca in Informatica  
Pierluigi Plebani, area di ricerca in Informatica





## CYBER-SECURITY

---

Sicurezza durante le operazioni in  
rete e su sistemi aperti

## 7.1 Riduzione consumo energetico per sistemi in cloud

### 7.1.1 Descrizione competenza

Abbiamo sviluppato *honeypot* per sistemi di controllo industriale (oil and gas). Inoltre abbiamo effettuato una approfondita analisi di sicurezza di robot industriali (in particolare ABB).

### 7.1.2 Risultati ottenuti

Per la *honeypot* stiamo predisponendo un prototipo da installare presso l'azienda con cui stiamo collaborando. Per i robot, abbiamo condiviso le informazioni con ABB e abbiamo un articolo accettato da IEEE Security and Privacy.

### 7.1.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Stefano Zanero, area di ricerca in Informatica

## 7.2 Sistemi crittografici per Industria 4.0

### 6.2.1 Descrizione competenza

Progetto, valutazione di fattibilità ed implementazione efficiente di sistemi crittografici. Security auditing delle applicazioni e dei componenti hardware e software. Competenze in crittografia applicata: progetto di architetture innovative per sistemi crittografici, identificazione di attacchi ad hardware e software per dispositivi mobili e fisse, progetto delle relative contromisure.

### 6.2.2 Risultati ottenuti

I membri del gruppo detengono 10 brevetti europei con estensione internazionale sulla progettazione di dispositivi sicuri e la definizione e ottimizzazione di protocolli crittografici per applicazioni specifiche. Partecipazione al progetto Europeo JU ENIAC TOISE (2011-2014) in collaborazione con ST Microelectronics, per la realizzazione di uno *smart meter* ed un chip multimediale per la creazione di un sistema di comunicazione sicuro per le *smart grid*. Il sistema è attualmente prodotto da ST Microelectronics.

### 6.2.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Luca Breveglieri, area di ricerca in Informatica  
Alessandro Barenghi, area di ricerca in Informatica  
Gerardo Pelosi, area di ricerca in Informatica





## **BIG DATA AND ANALYTICS**

---

Analisi di un'ampia base dati per  
ottimizzare prodotti e processi  
produttivi

## 8.1 Modellizzazione e predizione di performance

### 8.1.1 Descrizione competenza

Analisi dei dati tramite algoritmi di *machine learning* e apprendimento statistico al fine di ottenere:

- informazioni rilevanti su processi complessi e relativa visualizzazione
- identificazione di trend di diverso tipo
- modellizzazione e predizione di performance.

### 8.1.2 Risultati ottenuti

Trasferimento tecnologico di algoritmi, software e tool di visualizzazione per l'estrazione, pulizia, analisi e visualizzazione di dati:

- verso operatori di rete radiomobile; analisi di dati relativi al funzionamento della rete cellulare per ottimizzazione di performance
- verso azienda di macchinari idraulici; analisi dei dati di vendita di prodotti e ricambi per ottimizzare i processi di vendita.

### 8.1.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Alessandro E. Redondi, area di ricerca in Telecomunicazioni  
Matteo Cesana, area di ricerca in Telecomunicazioni  
Antonio Capone, area di ricerca in Telecomunicazioni  
Ilario Filippini, area di ricerca in Telecomunicazioni

## 8.2 Analisi dei dati per progettazione di sistemi di controllo

### 8.2.1 Descrizione competenza

Sviluppo di tecniche di data processing, identificazione, *machine learning* e *data-mining* con particolare attenzione agli aspetti temporali e di dinamica. Applicazioni di tali algoritmi alla progettazione di sistemi di controllo (soprattutto *automotive*), *vehicle sharing* e *business analytics*.

### 8.2.2 Risultati ottenuti

Più di 200 pubblicazioni internazionali su temi di identificazione, progetto *data-driven* di sistemi di controllo e tecniche avanzate di *signal processing*.

Più di 10 brevetti relativi a dispositivi "intelligenti" in grado di elaborare dati veicolo per ottimizzare sicurezza e performance.

Collaborazione decennale con aziende *automotive* e manifatturiere su temi di analisi dei dati e predizione.

### 8.2.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Sergio Savaresi, area di ricerca in Automatica  
Matteo Corno, area di ricerca in Automatica  
Mara Tanelli, area di ricerca in Automatica  
Silvia Strada, area di ricerca in Automatica  
Simone Formentin, area di ricerca in Automatica  
Giulio Panzani, area di ricerca in Automatica



## 8.3 Analisi di dati per applicazioni Healthcare

### 8.3.1 Descrizione competenza

Applicazioni di big data analytics in healthcare, text analytics, descriptive e predictive analytics.

### 8.3.2 Risultati ottenuti

Mappatura apps health su app stores tramite natural language processing e Watson: dimostrazione di fattibilità.

### 8.3.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Enrico Caiani, area di ricerca in Bioingegneria  
Marco Riboldi, area di ricerca in Bioingegneria

## 8.4 Riconoscimento di anomalie

### 8.4.1 Descrizione competenza

Algoritmi e tecniche di analisi/elaborazione di immagini (RGB, RGB-D, SEM, X-Ray) finalizzati all'individuazione di anomalie e alla classificazione (es. individuazione di difetti, di sostanze pericolose, cambiamenti di processo).

### 8.4.2 Risultati ottenuti

Software per individuare difetti nella produzione di nanofibre (immagini SEM). Progettato per una macchina prototipale del CNR.  
Algoritmi per analizzare dati ad alta dimensionalità ed immagini per controllo qualità nella produzione chip (dottorato sponsorizzato da ST Microelectronics).  
Software per analizzare e classificare immagini a raggi X nei controlli aeroportuali (con Gilardoni Raggi X).

### 8.4.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Giacomo Boracchi, area di ricerca in Informatica



## 8.5 Sviluppo ed analisi di recommender systems

### 8.5.1 Descrizione competenza

Recommender Systems: sistemi di big data analytics che permettono di prevedere il gradimento dei singoli utenti per specifici prodotti (o il comportamento degli utenti in specifici ambiti).

### 8.5.2 Risultati ottenuti

Numerose domande di brevetto sia in ambito Cloud che in ambito Recommender Systems.

Creazione di start-up che operano con successo da più di 10 anni nel mercato dei recommender systems (ContentWise) e del dimensionamento di sistemi Cloud (Moviri).

Partecipazione a progetti Europei focalizzati sul trasferimento tecnologico (EIT Digital).

Collaborazioni con grandi aziende del settore (tra cui, British Telecom, TIM).

### 8.5.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Paolo Cremonesi, area di ricerca in Informatica

## 8.6 Sistemi per lo stream reasoning

### 8.6.1 Descrizione competenza

Lo stream reasoning si occupa di metodi e soluzioni tecniche capaci di analizzare in tempo reale flussi di dati eterogenei, incompleti e, inevitabilmente, imprecisi per supportare i processi decisionali di un numero potenzialmente molto grande di utenti.

### 8.6.2 Risultati ottenuti

In oltre 10 anni di ricerca, il gruppo di ricerca su Stream Reasoning ha esteso le tecnologie semantiche in modo da incorporare in modo diretto i flussi di dati. Ha introdotto il modello dati noto come RDF stream, i linguaggi C-SPARQL e RSPQL di interrogazione continua di RDF Stream, e algoritmi di ragionamento automatico continuo pensati per flussi di dati eterogenei, incompleti e incerti. Al momento la comunità accademica dello stream reasoning conta quasi un centinaio di membri che hanno scritto oltre mille articoli sull'argomento.

RDF Stream e RSPQL sono stati proposti come possibile standard W3C (l'ente di standardizzazione del Web). Sono stati realizzati numerosi prototipi (rilasciati open source) che mostrano la scalabilità ai Big Data dei metodi e delle tecniche proposte. La soluzione open source di RDF stream processing del Politecnico di Milano (C-SPARQL Engine) è stata scaricata migliaia di volte. Prototipi di servizi e prodotti costruiti sul C-SPARQL engine sono stati impiegati in dimostratori su larga scala nel contesto delle Smart City (in particolare durante EXPO) sia in progetti del Politecnico di Milano che di decine di altre università e centri di ricerca. Una startup (Fluxedo) è stata fondata 2 anni fa per industrializzare i prototipi open source, sviluppare prodotti di social media e IoT analytics e offrire servizi sul mercato dei Big Data.

### 8.6.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Emanuele Della Valle, area di ricerca in Informatica



## 8.7 Gestione di dati pervasivi basata sul contesto

### 8.7.1 Descrizione competenza

Approccio context-aware alla gestione dei dati di sistemi pervasivi e basati sul contesto, cioè sistemi (e.g. IoT, sistemi wearable) che rilevano l'ambiente fisico e adattano a ogni contesto l'insieme di dati e servizi appropriato, ricavandolo, mediante data mining, dai comportamenti precedenti del sistema.

### 8.7.2 Risultati ottenuti

PerLa (Pervasive Language): consente all'utente di interagire, tramite un linguaggio simile a SQL, con dispositivi astratti che mascherano uno o più dispositivi fisici o altri sistemi complessi.

CAMUS (Context-Aware Mobile mashUpS) supporta la progettazione di app Web e mobili che integrano dati e servizi filtrandoli dinamicamente sulla base del contesto rilevato a run-time e dei comportamenti precedenti dell'utente.

### 8.7.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Letizia Tanca, area di ricerca in Informatica  
Fabio Schreiber (professore emerito), area di ricerca in Informatica  
Maristella Matera, area di ricerca in Informatica  
Elisa Quintarelli, area di ricerca in Informatica

## 8.8 Machine Learning per Industria 4.0

### 8.8.1 Descrizione competenza

Machine learning (Data Analytics, Big Data).

### 8.8.2 Risultati ottenuti

Data Analytics: sistemi realizzati, proposta Regione Lombardia con Pirelli.

### 8.8.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Andrea Bonarini, area di ricerca in Informatica  
Matteo Matteucci, area di ricerca in Informatica  
Marcello Restelli, area di ricerca in Informatica  
Francesco Amigoni, area di ricerca in Informatica  
Pierluca Lanzi, area di ricerca in Informatica  
Daniele Loiacono, area di ricerca in Informatica



## 8.9 Verifica formale di sistemi Big Data

### 8.9.1 Descrizione competenza

Verifica di proprietà di *data-intensive applications*, basate su tecnologie quali Storm e Spark.

### 8.9.2 Risultati ottenuti

Strumento D-VerT (DICE Verification Tool), sviluppato nell'ambito del progetto DICE (<https://github.com/dice-project/DICE-Verification/wiki>); il livello di maturità è un proof of concept che funziona per applicazioni accademiche.

### 8.9.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Matteo Rossi, area di ricerca in Informatica  
Dino Mandrioli, area di ricerca in Informatica

## 8.10 Analisi delle prestazioni di sistemi Big Data

### 8.10.1 Descrizione competenza

Analisi delle prestazioni e dimensionamento di sistemi cloud e big data. Gestione delle risorse a runtime con l'obiettivo della minimizzazione dei costi operativi dell'infrastruttura con vincoli sulle prestazioni delle applicazioni.

### 8.10.2 Risultati ottenuti

Sono stati sviluppati tool prototipali nell'ambito di alcuni progetti europei (MODAClouds, DICE e EUBRA-BIGSEA):

- I tool per l'analisi delle prestazioni e dimensionamento hanno un buon livello di maturità e sono open source:

<https://github.com/deib-polimi/modaclouds-space4cloud>

<https://github.com/dice-project/DICE-Optimisation-Plugin>

<https://github.com/dice-project/DICE-Optimisation-Back-End>

<https://github.com/dice-project/DICE-Optimisation-Front-End>

- I tool per la gestione delle applicazioni a runtime sono stati rilasciati a Settembre 2017 e sono open source:

[https://github.com/eubr-bigsea/OPT\\_IC\\_WS](https://github.com/eubr-bigsea/OPT_IC_WS)

[https://github.com/eubr-bigsea/OPT\\_Deadline](https://github.com/eubr-bigsea/OPT_Deadline)

[https://github.com/eubr-bigsea/OPT\\_IC](https://github.com/eubr-bigsea/OPT_IC)

[https://github.com/eubr-bigsea/opt\\_jr](https://github.com/eubr-bigsea/opt_jr)

- I tool integrano modelli di simulazione e machine learning e tecniche di ottimizzazione.

### 8.10.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Danilo Ardagna, area di ricerca in Informatica



## 8.11 Analisi dei dati da social networks

### 8.11.1 Descrizione competenza

Analisi di dati da social network, business intelligence e predictive analytics.

### 8.11.2 Risultati ottenuti

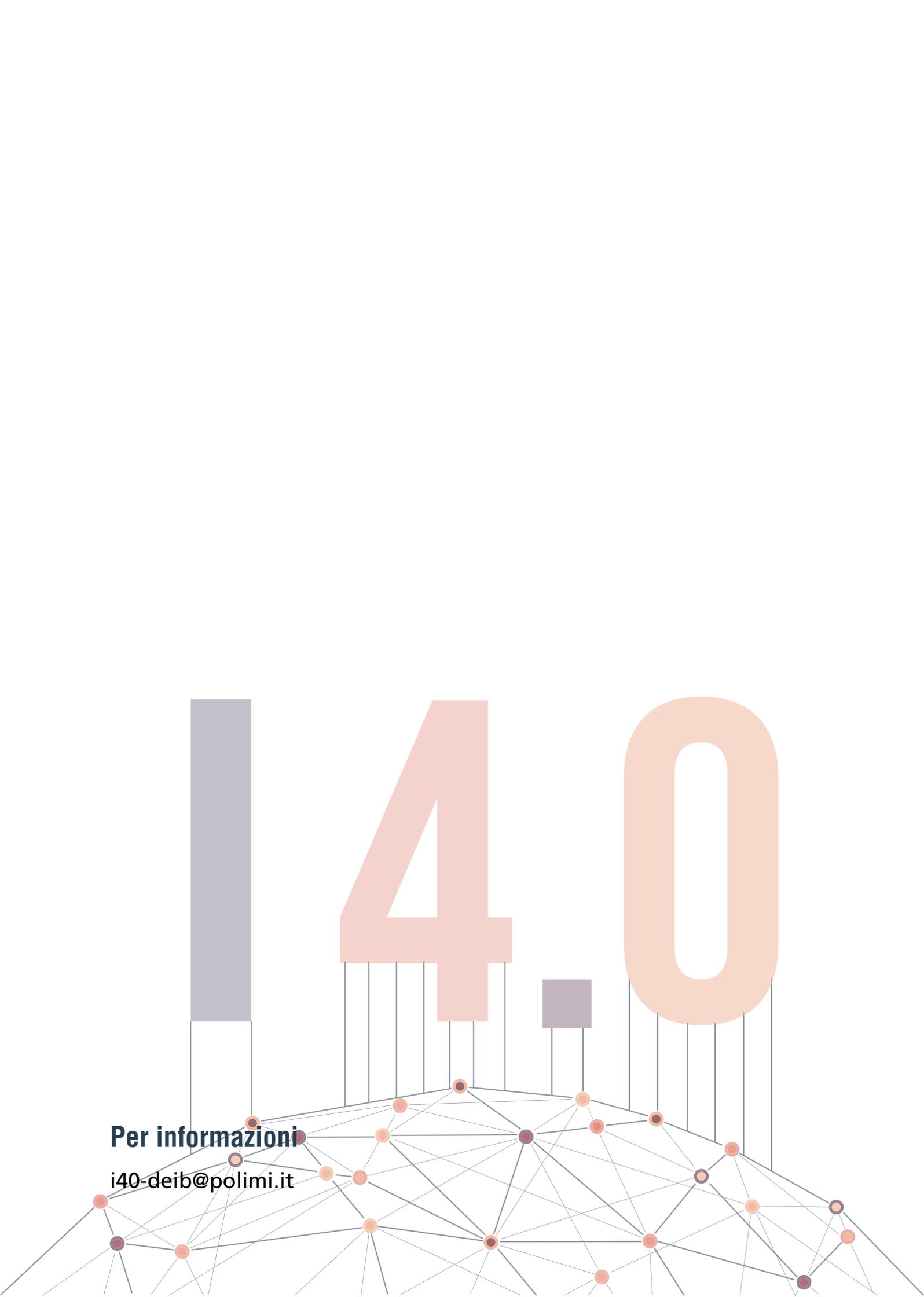
Analisi di Tweet e loro geolocalizzazione.

Dimostrazioni e trasferimento tecnologico di strumenti per l'analisi di dati aziendali.

### 8.11.3 Personale coinvolto e area di ricerca di appartenenza

Barbara Pernici, area di ricerca in Informatica  
Chiara Francalanci, area di ricerca in Informatica  
Mariagrazia Fugini, area di ricerca in Informatica  
Cinzia Cappiello, area di ricerca in Informatica  
Pierluigi Plebani, area di ricerca in Informatica



The image features a large, stylized number '140' in a light orange color. The '1' is a simple vertical bar, while the '4' and '0' are more complex, blocky shapes. Below the number, a network diagram is visible, consisting of a series of interconnected nodes (represented by small circles in various colors like orange, grey, and dark red) and thin lines connecting them. The nodes are arranged in a roughly horizontal line, with some extending upwards and downwards, creating a web-like structure. The background is plain white.

140

**Per informazioni**  
[i40-deib@polimi.it](mailto:i40-deib@polimi.it)