



# SISTEMI

# CIBERFISICI



Review tecnologica, costruzione del network dei centri per  
l'innovazione del Veneto e strutturazione dei relativi servizi  
CIG Z7F1EEBEE8 – 15/11/2017

# | SISTEMI CIBERFISICI |

«L'evoluzione di internet ha esteso internet stesso a oggetti e luoghi reali ("cose" appunto),  
che ora possono interagire con la rete e trasferire dati e informazioni»

Mauro Bellini in Internet4Things

## La definizione

Un sistema ciberfisico, o CPS (dall'inglese cyber-physical system), è un sistema in cui la parte "cyber" e i processi fisici sono strettamente integrati.

Il termine è stato coniato alla National Science Foundation (USA) e rapidamente adottato in Europa per descrivere sistemi embedded e reti di comunicazione che controllano fenomeni e processi – solitamente in anelli chiusi in cui la parte cyber e la parte fisica interagiscono e si influenzano l'una con l'altra (Hellen Gill, NSF).

Il sistema ciberfisico, quindi, è l'integrazione tra processi computazionali e processi fisici.

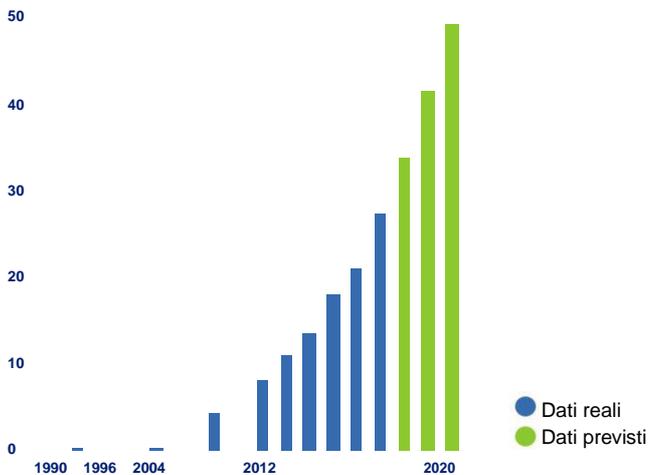
Le reti e i sistemi informatici embedded monitorano e controllano ogni struttura, solitamente grazie a meccani-

smi di retroazione (feedback loops) in cui i processi fisici influenzano quelli computazionali e viceversa.

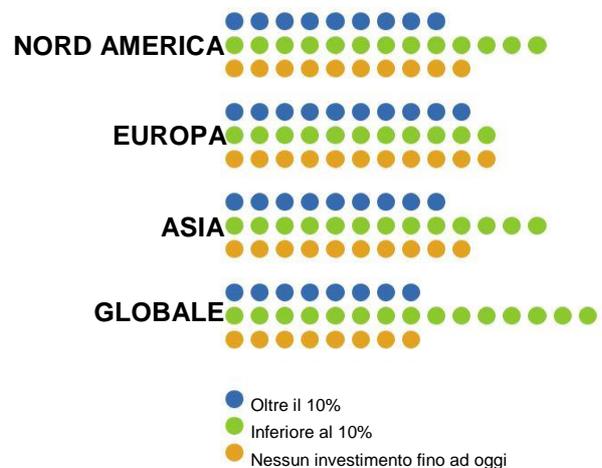
I CPS, dunque, rappresentano l'intersezione (e non l'unione) tra fisica e cibernetica: le due componenti non si possono comprendere se separate, ma esclusivamente nella loro interazione.

La progettazione di questi sistemi richiede la comprensione della compenetrazione dinamica tra computer, software, reti e processi fisici: lo studio di tale fusione dà vita alla disciplina in esame, come scienza a sé stante.

Conosciamo tutti il termine "ciberspazio" e potremmo pensare che si tratti della stessa cosa, ma sarebbe più giusto considerare i due termini come derivati della stessa radice ("cibernetica") piuttosto che come sinonimi.



Numero di device nel mondo: previsioni di crescita.



Investimenti nel mercato IoT suddivisi per nazione.

## Excursus storico

**1898** Nikola Tesla con il suo sistema "Teleautomation" progetta due imbarcazioni radiocontrollate.

**1948** Norbert Wiener pubblica l'opera "La Cibernetica – Controllo e comunicazione nell'animale e nella macchina". **1961** Charles Stark Draper progetta e costruisce l'Apollo Guidance Computer della NASA, sistema che permetterà all'Apollo di atterrare sulla Luna.

**1988** Mark Weiser conia il termine "Ubiquitous Compu-

ter" per definire il livello di interazione tra la macchina e l'ambiente umano, al punto che i computer non sono più percepiti come oggetti esterni

**1999** Kevin Ashton conia il termine "Internet of things", è il precursore del Sistema standard di identificazione a radiofrequenza (RFID).

**2006** Helen Gill della National Science Foundation (Stati Uniti) conia il termine "Sistemi ciberfisici".

## | PUNTI DI PARTENZA |

### Evoluzione dei sistemi

Come nascono i sistemi ciberfisici? Per comprenderlo dobbiamo analizzare le tecnologie antecedenti alla loro invenzione, in particolare si tratta di indagare l'evoluzione avvenuta nei sistemi embedded.

**Sistemi embedded.** Dispositivi integrati con risorse limitate, che controllano una o più funzioni. Ad esempio, sistemi di trasporto quali ascensori, treni e automobili contengono un numero elevato di sistemi embedded "trasparenti per l'utente" e relativi al controllo del movimento, alla connettività, all'autodiagnosi, alla gestione dell'energia, al comfort e alla sicurezza delle persone. Questi sistemi di elaborazione uniscono hardware, software, FPGA, comunicazioni e sono in grado di dotare di funzioni particolari gli oggetti in cui sono integrati.

**M2M (reti di sistemi embedded).** Connettività per favorire la comunicazione tra diversi sistemi embedded.

**Internet of Things (IoT).** Termine coniato per la prima volta dall'ingegnere britannico Kevin Ashton nel 1999 al MIT, indica una rete di comunicazione che collega le

"cose" con capacità di individuazione, rilevamento ed elaborazione. In particolare, ogni cosa ha la sua identità virtuale e capacità potenziale di interagire all'interno della rete in maniera autonoma, con qualsiasi altro elemento (che si tratti di un oggetto reale o di un essere umano). Gli oggetti sono collegati secondo determinati livelli di intelligenza, ogni dispositivo elettronico indossato dall'utente è connesso con gli altri: si tratta della cosiddetta physical world digitalisation (la digitalizzazione del mondo fisico).

**Sistemi ciberfisici.** Il programma European Horizon 2020 considera i CPS come la generazione futura di sistemi TIC embedded, interconnessi e dialoganti tramite l'Internet delle cose, che forniranno ai cittadini e alle aziende un'ampia serie di applicazioni e servizi innovativi.

I CPS sono i sistemi TIC sempre più integrati in un numero crescente di oggetti, capaci di fornire prestazioni intelligenti, maggiore efficienza energetica e facilità d'impiego (ad esempio nei sistemi di trasporto, nei veicoli, nelle fabbriche, ospedali, uffici, abitazioni, città e dispositivi personali): il computer interagisce con il mondo fisico grazie all'uso di elementi computazionali.

Embedded

M2M

IoT

Cyber-physical

### Vs Internet of Things

Esistono notevoli differenze tra i CPS e l'Internet delle cose (IoT).

1. Innanzitutto, i CPS sono focalizzati principalmente sulla comunicazione, la computazione, il controllo e di solito lavorano sulla base di un circuito di retroazione - feedback loop (ad anello chiuso).

2. In secondo luogo, l'ampiezza delle reti in cui si sviluppano i CPS è concentrata a un livello locale e non è così grande come i sistemi IoT.

3. Inoltre, gli attuatori intelligenti sono per lo più impiegati nelle reti wireless che stanno alla base, per effettuare il controllo in feedback e realizzare una profonda integrazione tra i sistemi computazionali e i processi fisici bidirezionali.

4. Infine il CPS non deve essere necessariamente collegato a internet, mentre nell'IoT miliardi di dispositivi devono essere collegati alla rete poiché ne fanno parte.

### A proposito di CPS | 1

Tra i componenti cyber di un'applicazione CPS figurano spesso algoritmi che reagiscono con i sensori di dati inviando segnali di controllo, tramite gli attuatori, ai componenti fisici del CPS. Tali sistemi di retroazione ad anello chiuso (closed-loop feedback) rientrano nel campo tradizionale della teoria del controllo, che studia la stabilità e le dinamiche di queste interazioni.

Tuttavia i CPS comportano, necessariamente, l'ampliamento di questa teoria per comprendere anche le dinamiche relative ai software e alle reti, aventi effetti notevoli sulla stabilità e sulle dinamiche dei sottosistemi.

## | CREAZIONE DI CPS |

La realizzazione dei sistemi ciberfisici comporta un ampio spettro di elementi che devono interagire gli uni con

gli altri per ottenere il funzionamento desiderato del dispositivo specifico. Vediamo quali sono:

### Le metodologie

La creazione di un sistema ciberfisico necessita di una serie di riflessioni a priori, è necessario un approccio formale. Esistono diverse strategie da prendere in considerazione durante la progettazione di un CPS, le più rilevanti sono: la Model Based Design e la metodologia iterativa.

Quali sono i requisiti?

**Specificità, modellazione e analisi.** I sistemi ciberfisici sono “concorrenti” (i vari sensori e attuatori inviano e ricevono informazioni in modo integrato).

Il problema è che i fenomeni concorrenti nel mondo fisico (la coesistenza di meccanismi dinamici fisici in una continuità temporale) sono molto diversi dai modelli di concorrenza nei software (inserimento arbitrario di sequenze uniche di azioni), così come dai modelli di concorrenza presenti nelle reti (azioni discrete asincrone e parzialmente ordinate oppure intervalli di tempo scanditi dall’orologio). La necessità di conciliare tali modelli divergenti e garantire l’interoperabilità e la comunicazione tra le diverse componenti rappresenta un problema centrale nei CPS.

**Scalabilità e complessità della gestione.** I sistemi ciberfisici sono intrinsecamente eterogenei, poiché abbinano la dinamica fisica con i processi computazionali. Spesso,

però, sono eterogenei anche gli stessi ambiti fisici e ciberneticici. L’ambito fisico può essere costituito da elementi molteplici, ad esempio il controllo del movimento meccanico, i processi chimici e biologici, gli operatori umani. L’ambito ciberneticico può mettere insieme tecnologie di rete, linguaggi di programmazione, modelli di componenti software e meccanismi concorrenti.

La sfida da vincere è proprio quella di offrire metodologie – e strumenti che supportino tali metodologie – adatte a progettazioni estese, che facilitino l’analisi e aiutino a comprendere i sistemi complessi.

**Validazione e verifica.** La validazione è il processo che consiste nel determinare se un progetto corrisponde alle necessità dell’utente, mentre la verifica è il processo che determina se un progetto rispetta una serie di requisiti, specifiche e norme.

Importanti per entrambe sono la garanzia (processo di fornitura delle prove sulla validità di un lavoro di progettazione), la certificazione (processo di ottenimento dell’approvazione riguardo ad un lavoro da parte di un organismo normativo) e la simulazione (processo di validazione di un progetto che consiste nel mimare il suo comportamento per un determinato insieme di input).

### Strumenti e Dispositivi

Si tratta di programmi in grado di sviluppare e specificare requisiti o tipi di design, sistemi di simulazione e analisi della progettazione. Una volta stabilito il modello e il metodo, infatti, è necessario utilizzare tutte le informazioni generate e sfruttarle per creare il sistema, integrando varie discipline attinenti all’ambito fisico (hardware: elementi necessari per l’acquisizione di informazioni, strumenti di elaborazione di questultime, sistemi di comunicazione) e informatico/digitale (software: progettazione, simulazione e programmazione).

La scelta dei materiali che costituiranno il sistema ciberfisico è determinante nel contenimento dei costi e nell’affidabilità di tali supporti.

**Dispositivi computazionali.** I dispositivi da utilizzare sono sostanzialmente tre: processori (circuiti che integrano la funzione di calcolo matematico e di elaborazione),

controllori (componenti che integrano un microprocessore con altri elementi quali le memorie RAM e ROM, un’unità di Input/Output e le comunicazioni seriali. È come un minicomputer), FPGA (dispositivo che permette una programmazione a livello hardware utilizzando porte logiche). Esistono anche piattaforme che consentono una prototipazione rapida e cioè la possibilità di testare l’applicazione prima di mandarla in produzione, in modo semplice ed economico.

**Sensori.** Gli attuatori e i sensori wireless a bassa potenza permettono di misurare e controllare i processi fisici, in alternativa ai più economici sistemi cablati.

**Comunicazione wireless.** Le comunicazioni sono una delle basi su cui costruire il CPS, soprattutto quelle senza fili poiché permettono di ricollocare e localizzare i dispositivi in qualsiasi luogo senza preoccuparsi del cablaggio (Bluetooth, wifi, radiofrequenza).

## | LE APPLICAZIONI |

### I business

A quali settori è possibile applicare i sistemi ciberfisici? Vediamone alcuni:

**Monitoraggio infrastrutture civili.** Una delle sfide maggiori per gli ingegneri è la gestione nel tempo di infrastrutture quali dighe, ponti ed edifici. Sensori a fibre ottiche, MEMS e tecnologie di comunicazione wireless promettono grandi prestazioni nel monitoraggio preciso e continuo delle strutture.

**Medicina.** Le reti di sensori wireless hanno un ruolo importante nella raccolta di informazioni diagnostiche, nel monitoraggio e controllo dello stato di salute e nella somministrazione dei farmaci ai pazienti.

L'integrazione tra le tecnologie informatiche e i sistemi cruciali di controllo dei dati medici necessita di una condizione preliminare fondamentale: l'individuazione di sistemi ciberfisici con elevata affidabilità.

Inoltre, si stanno sviluppando tecnologie volte a favorire l'assistenza medica a distanza dei pazienti e che forniranno al personale sanitario informazioni sulle attività quotidiane e sulla salute degli assistiti; ciò permetterà ai medici di prendere decisioni migliori e documentate sulle modalità di intervento.

L'integrazione di tali aspetti relativi all'assistenza odierna potrebbe trasformare il sistema sanitario in un grande sistema ciberfisico di sicurezza, complesso e di fondamentale importanza, con molti vantaggi e punti da soddisfare.

**Trasporti.** Le applicazioni dei CPS nei trasporti comprendono il settore automobilistico, quello aeronautico e aerospaziale, gli ascensori, le scale e i marciapiedi mobili, il

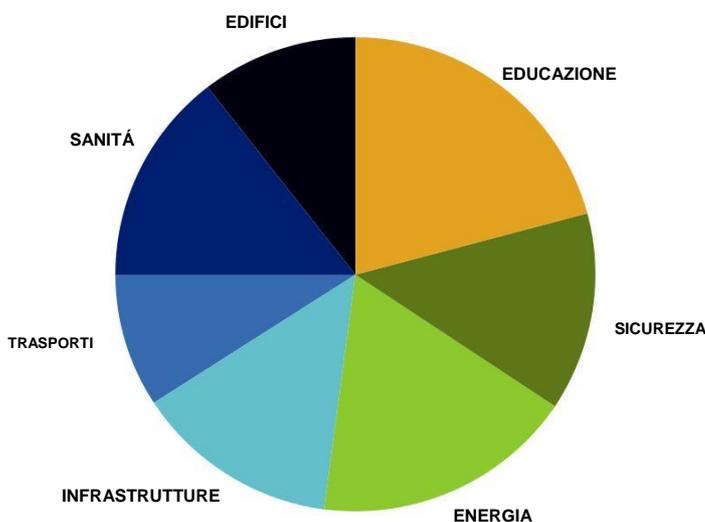
settore ferroviario e la gestione del traffico.

I principali problemi relativi alla progettazione dei sistemi di trasporto sono la sicurezza, l'efficienza e la risposta a situazioni di emergenza e disastri.

**Robotica.** È possibile utilizzare i robot sia per le operazioni di salvataggio in situazioni di emergenza o in ambienti di lavoro pericolosi che per l'assistenza domiciliare agli anziani e ai disabili (intervenendo in zone remote/inaccessibili e riducendo il pendolarismo grazie all'uso di tecnologie controllate a distanza). A questo proposito – oltre ai robot umanoidi – le ricerche si stanno concentrando sulla costruzione di sistemi robotizzati di soccorso in cui le macchine potranno coordinarsi fra di loro, collaborando effettivamente con le squadre di salvataggio.

**Reti energetiche.** La generazione di energia elettrica, la sua distribuzione e ottimizzazione sono ambiti che riguardano i CPS. Le smart grid, ad esempio, collegano varie centrali elettriche con una modulazione dei carichi rivolti alla rete. Il principio della “generazione in base alla domanda” permette di razionalizzare meglio il carico e ottimizzare i costi tariffari. Proprio per questo, negli edifici “intelligenti” sono installati sensori integrati (di solito wireless).

**Comunicazioni.** Per le caratteristiche di controllo digitale e di contenimento delle risorse fisiche – come la gestione dello spettro radioelettrico e i canali in fibra ottica – i sistemi di comunicazione sono intrinsecamente dei sistemi ciberfisici. Possono essere utilizzate e valorizzate reti di telefonia mobile, reti di sensori e reti wireless.



Smart city: previsioni di crescita per il 2020.

### A proposito di CPS | 2

Le città intelligenti (alcuni le chiamano città sensibili) si riferiscono a strategie di pianificazione urbanistica che migliorano la qualità della vita in città. Le tecnologie adottate per realizzare città intelligenti permettono di relazionare le infrastrutture (oggetti) con gli abitanti. Esempi sono semafori intelligenti (che diventano verdi quando non passano macchine dal senso opposto), sistemi innovativi per la gestione e lo smaltimento dei rifiuti, innovazioni di mobilità e architettoniche.



Gianluca Dotti

## A che punto siamo con l'Internet delle cose?

Spesso si parte dalla fine, concentrandosi sulle cose, eppure nella Internet of things (IoT) gli oggetti sono solo il mezzo per arrivare a un obiettivo più complesso, sono strumenti per raccogliere dati. E questo vale sia per la nostra quotidianità sia per le imprese, tanto per i dispositivi che portiamo al polso quanto per i sensori utilizzati nelle industrie.

Se da un lato orologi intelligenti, braccialetti per il fitness e macchine che si parcheggiano da sole sono ormai entrate nella nostra quotidianità, dall'altro estrarre un senso dai dati e ricavarne un valore aggiunto è ancora un'attività in divenire.

**Oggi gli obiettivi legati all'Internet delle cose sono principalmente tre: raccogliere informazioni in modo affidabile e garantendo una corretta connessione tra i dispositivi, estrarre indicazioni utili dall'analisi computazionale dei dati e assicurare la protezione ai dati sensibili raccolti.**

D'altra parte le esperienze IoT sono già innumerevoli, dalla manifattura alla tutela della salute, dalla logistica dei trasporti ai sistemi di compravendita. E se in generale si potrebbe dire che l'Internet delle cose riguarda qualsiasi tipo di industria, nella pratica è fondamentale individuare in ciascun caso quali sono i bisogni a cui rispondere e le soluzioni da trovare, in maniera estremamente specifica.

Nel caso dei trasporti, ad esempio, la connettività dei veicoli e tra i veicoli consente non solo di scegliere i percorsi in base alle informazioni sul traffico, ma anche di gestire assicurazioni, ammortamenti e manutenzione in modo più preciso, basando sulle condizioni reali del veicolo anche le riparazioni e i controlli.

I rischi per l'incolumità dei cittadini possono essere valutati da specifici sistemi che funzionano negli aeroporti o negli stadi, mentre la **smart city** – che in Italia sta un po' faticando a decollare – evolve con sistemi di controllo della qualità di acqua e suolo, con sistemi di gestione dei parcheggi nelle aree urbane e con soluzioni innovative per la gestione della spazzatura.

Sulla questione rifiuti, ad esempio, esistono sistemi di ottimizzazione della raccolta basati su sensori che rilevano il livello di riempimento dei bidoni. Attraverso la scelta giorno per giorno del percorso di raccolta in base alle reali esigenze, si è riusciti a ridurre fino al 40% il tempo di lavoro degli addetti e del 20% la distanza percorsa dagli automezzi, con effetti diretti sul bilancio e indiretti anche sulla qualità dell'aria, sull'inquinamento acustico e sul traffico urbano.

Un altro tema ancora di frontiera è quello dell'integrazione, intesa come la possibilità di utilizzare un solo sistema connesso per gestire servizi che convivono in una stessa situazione. Nelle città, ad esempio, l'integrazione può avvenire tra il sistema dei semafori, dell'illuminazione pubblica e dei parcheggi.

Se si guarda ai numeri forniti dall'**Osservatorio Internet of Things del Politecnico di Milano**, per la sola Italia si stima un valore della IoT prossimo ai **3 miliardi di euro**, con una crescita

nell'ultimo anno del 40%, superiore alla media europea e trainata da automobili intelligenti e contatori domestici. Quest'ultimo settore – indicato in gergo come **smart metering** – vale da solo 950 milioni di euro, a cui si aggiungono altri 550 milioni che arrivano dalle automobili intelligenti, 510 dagli **smart building** e quasi altrettanto dai sistemi di logistica.

Risultano invece in posizioni più basse, dunque con ampi margini di crescita, il già citato comparto delle **smart city**, la cosiddetta **smart industry** (o **industria 4.0**) e i dispositivi della **smart home**, intesi sia come monitoraggio dettagliato dei consumi sia come sicurezza contro i tentativi di effrazione domestica.

**Si stima che entro il 2020 il numero di dispositivi smart nel mondo arriverà a 20-25 miliardi e che supererà quota 50 miliardi prima del 2025, generando una mole di dati molto superiore ai ritmi attuali.** Questo pone nuove sfide relative all'analisi dei dati, dai monitoraggi in tempo reale all'interpretazione delle serie storiche, ma creando anche inevitabili collegamenti con le realtà collegate in cloud e con le capacità di connessione dei dispositivi mobile.

Dal punto di vista dell'utente, possiamo aspettarci sistemi sempre più semplici da utilizzare, una crescente integrazione nella capacità di comunicazione tra dispositivi e la possibilità di analizzare i dati anche su lunghi intervalli di tempo.

Tra i dispositivi hardware si prevede lo spopolamento dei pedometri (meglio noti come **contapassi**), ma anche l'arrivo in massa di frigoriferi, lavatrici e sensori di varia natura. Oltre alle persone, anche animali e piante potranno essere collegati a sistemi di monitoraggio, localizzazione e misurazione dello stato di salute. **La possibilità di trasformare praticamente qualsiasi oggetto in un sistema connesso è permesso dallo sviluppo di dispositivi collegati alla rete che per funzionare necessitano di pochissima energia, memoria e capacità di calcolo.**

Ma quali altri settori si apriranno nei prossimi anni? Uno è la gestione delle reti energetiche, al momento limitata a progetti sperimentali e su piccola scala come le **smart grid**. Oppure l'integrazione tra **smart home** e **smart health**, ossia strategie combinate che uniscono il monitoraggio della salute con offerte personalizzate per la casa intelligente, magari collegate a sconti sulle polizze assicurative. Ancora allo stato embrionale è anche l'agricoltura di precisione (**precision farming**), per la quale si intravede la possibilità di creare sistemi di sensori ambientali capaci di monitorare territori, condizioni meteorologiche e quantità di acqua, concimi e fertilizzanti da fornire ai suoli.

Dal punto di vista della pubblica amministrazione, infine, l'Internet delle cose apre la possibilità di nuove forme di controllo e monitoraggio, come ad esempio per la posizione delle slot machine o per la sorveglianza pubblica, ma richiede anche approcci ponderati sul tema della **privacy** e della protezione da attacchi informatici su larga scala.