

Sistemi E Tecnologie per l'Automazione LM

Architetture e Tecnologie per i sistemi di controllo

Ing. Gianluca Palli
DEI - Università di Bologna
Tel. 051-2093186
E-mail: gianluca.palli@unibo.it
<http://www-lar.deis.unibo.it/people/gpalli/>

Ing. Gianluca Palli - Sistemie Tecnologie per l'Automazione LM

Revisato il 25/09/2015

Obiettivo

- Introdurre l'architettura tecnologica dei sistemi di controllo
 - Modello/Schema/Architettura "generale"
- Definirne i componenti principali, introducendo: principali caratteristiche e problematiche
- Per arrivare alla *architettura tecnologica* generale si introduce prima l'*architettura funzionale* generale
 - Prima "funzione" poi "realizzazione"
- Cenni alla mappatura dal mondo funzionale a quello tecnologico

Ing. Gianluca Palli - Sistemie Tecnologie per l'Automazione LM

Architetture e tecnologie 2

Sommario

- Definizione dello schema funzionale dei sistemi di controllo
 - Modello/Architettura di riferimento generale (anche se qualitativo)
- Definizione dello schema tecnologico
 - Modello/Architettura di riferimento generale (anche se qualitativo)
- Generalità sui componenti dell'architettura tecnologica
 - Tecnologie utilizzate
 - Cenni alle principali problematiche
- Linee guida per la mappatura da schema funzionale a tecnologico

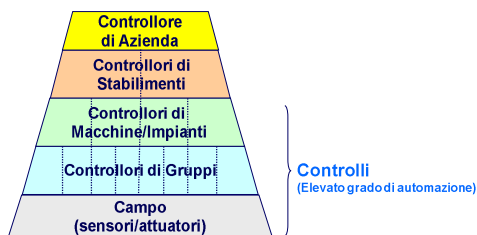
Ing. Gianluca Palli - Sistemie Tecnologie per l'Automazione LM

Architetture e tecnologie 3

SCHEMA FUNZIONALE GENERALE DI UN SISTEMA DI CONTROLLO

Ing. Gianluca Palli - Sistemi e Tecnologie per l'Automazione LM Architetture e tecnologie 4

Schema funzionale generale



Si considera il livello dei "controlli":

Controllo di variabili temporali "classico" e controllo di sequenze

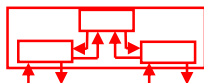
Ing. Gianluca Palli - Sistemi e Tecnologie per l'Automazione LM Architetture e tecnologie 5

Schema funzionale generale

Schemi funzionali MIMO

■ I modelli funzionali dei controlli sono in generale MIMO

- Controlli "classici" time-driven possono essere MIMO
 - Approccio nello spazio degli stati
 - Strutture SISO in cascata
- Controlli di sequenze sono tipicamente MIMO
 - Più ingressi e uscite tipicamente digitali
 - Es: automi a stati finiti
- Comunque l'organizzazione vista nella piramide dell'automazione determina un sistema di controllo complessivo MIMO
 - Il livello detto "controllo" è fatto da più "sottocontrolli" SISO o MIMO
 - Complessivamente è MIMO!



Ing. Gianluca Palli - Sistemi e Tecnologie per l'Automazione LM Architetture e tecnologie 6

Schema funzionale generale

Relazioni tipiche tra controlli di sequenze e controlli di variabili temporali

- Tipicamente il controllo di sequenze nelle diverse condizioni di lavoro innesca diversi controllori "classici" o ne modifica i riferimenti
- Generalmente il controllo di sequenze è gerarchicamente "sopra" al controllo diretto di variabili temporali

Schema funzionale generale

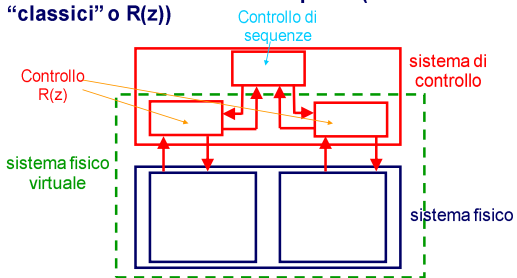
Relazioni tipiche tra controlli di sequenze e controlli di variabili temporali

- Superamento della concezione di sistema di controllo vista nei corsi precedenti
- **NELL'AUTOMAZIONE IN GENERALE I "CONTROLLI" DEVONO GESTIRE LE DIVERSE FASI DI FUNZIONAMENTO DEL SISTEMA, NON SOLO REGOLARE ALCUNE VARIABILI D'USCITA.**
 - Il controllore del sistema risulta essere una "macchina a stati" piuttosto complessa nell'ambito della quale i controllori "classici", visti nei corsi di base, vengono attivati e disattivati a seconda della fase di funzionamento.

Schema funzionale generale

Relazioni tipiche tra controlli di sequenze e controlli di variabili temporali

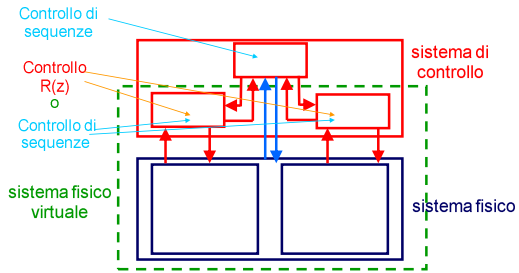
- **Relazione gerarchica** tra i controlli di sequenze e i controlli diretti di variabili temporali (indicati come "classici" o $R(z)$)



Schema funzionale generale

Relazioni tipiche tra controlli di sequenze e controlli di variabili temporali

- In generale però la relazione tra controlli di sequenze e controlli $R(z)$ si traduce in una gerarchia "non pura"



Ing. Gianluca Palli - Sistemi e Tecnologie per l'Automazione LM Architetture e tecnologie 10

Schema funzionale generale

Relazioni tipiche tra controlli di sequenze e controlli di variabili temporali

- **Controlli di sequenze e Controlli $R(z)$: gerarchia "non pura"**
 - Controllo di sequenze anche "connesso" col plant fisico
 - Gerarchie "non pure" anche tra controlli dello stesso tipo
 - Ctrl "classico": [controllo in cascata](#)
 - Gerarchie di Controlli di Sequenze
 - Non si ha generalmente Ctrl "classico" "sopra" Ctrl di seq.
 - In alcuni casi, quindi, Ctrl "classico" e Ctrl di sequenze messi allo stesso livello, e si descrivono le relazioni gerarchiche come problemi "orizzontali"
 - Meglio parlare di gerarchia "non pura" e riservare la denominazione di "orizzontale" per controlli realmente allo stesso livello (cooperanti, non considerati in questo corso e ancora piuttosto rari)

Ing. Gianluca Palli - Sistemi e Tecnologie per l'Automazione LM Architetture e tecnologie 11

Schema funzionale generale

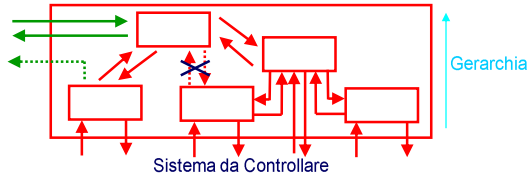
NOTE

- Ai livelli superiori della piramide dell'automazione le gerarchie "non pure" sono molto rare
- Comunque dai livelli superiori non si interagisce direttamente col campo
 - (Con Ethernet Industriale si potrebbe derogare... Complicato)
- Nel corso ci si limita al livello dei "controlli"

Ing. Gianluca Palli - Sistemi e Tecnologie per l'Automazione LM Architetture e tecnologie 12

Schema funzionale generale

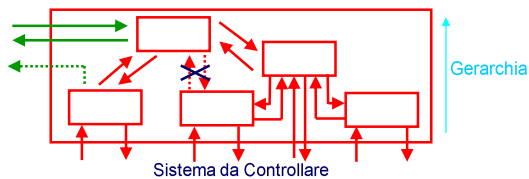
Modello/Architettura funzionale generale per la descrizione dei "controlli"



Blocchi: rappresentano controlli di sequenze o "time-driven"
Vincoli gerarchici: controllo di sequenze no "dipendenza" da ctrl "time-driven"
un controllo non può "dipendere" da più controlli
Comunicazione con l'esterno: set point o altro da livelli superiori, utenti umani
meglio se solo con/coi controlli "più alti"
(coi "bassi" solo monitoraggio, eventualmente)

Schema funzionale generale

Modello/Architettura funzionale generale per la descrizione dei "controlli"



Ogni progetto funzionale di sistemi di controllo
(controlli di sequenza e/o controlli "time-driven")
deve (dovrebbe) rientrare nell'architettura generale definita

SCHEMA TECNOLOGICO GENERALE PER UN SISTEMA DI CONTROLLO

Schema tecnologico generale

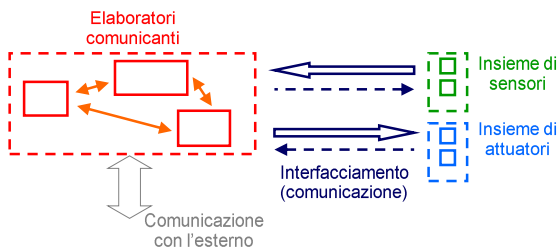
Generalità

- Analogamente all'ambito funzionale:
definizione di un modello/architettura "generale" di tipo tecnologico
 - Analogie col modello funzionale
- Su questa si "taglierà" l'architettura "reale" in dipendenza dallo schema funzionale di controllo da realizzare
 - In questo corso: solo linee guida...
 - I vari componenti dell'architettura "reale" andranno scelti in funzione delle specifiche funzionali
 - Attenzione: problemi aggiuntivi derivanti dalle architetture implementative
 - ◆ Esempio: ritardi di comunicazione trascurati in prog. funzionale

Ing. Gianluca Palli - Sistemi Tecnologie per l'Automazione LM Architetture e tecnologie 16

Schema tecnologico generale

Modello/Architettura Tecnologica Generale di Riferimento



Ing. Gianluca Palli - Sistemi Tecnologie per l'Automazione LM Architetture e tecnologie 17

Schema tecnologico generale

Modello/Architettura Tecnologica Generale di Riferimento: Componenti

- **Unità di elaborazione:**
 - diverse tecnologie
 - dislocazione anche remota
- **Sistema di comunicazione tra unità di elaborazione**
 - Dipendente dalle unità di elab. (tipicamente per elab. elettronici)
 - Diverse tecnologie anche nella stessa architettura
 - Può rispecchiare lo schema funzionale implementato
- **Sensori e Interfacciamento**
 - Misure dal campo
 - "Intelligenza" sul sensore
 - Configurabilità
 - Integrazione più semplice anche nella comunicazione tra elaboratori

Ing. Gianluca Palli - Sistemi Tecnologie per l'Automazione LM Architetture e tecnologie 18

Schema tecnologico generale

Modello/Architettura Tecnologica Generale di Riferimento: Componenti (cont.)

■ Attuatori e Interfacciamento

- Azioni sul campo
- Dispositivi di "potenza"
- "Intelligenza" sugli attuatori
 - Controllo locale già fornito dal costruttore (es: motore DC)
 - Configurabilità
 - Integrazione più semplice anche nella comunicazione tra elaboratori

■ Comunicazione con l'esterno

- Interfaccia operatore
- Altri sistemi di controllo (livelli superiori della piramide)
- Integrazione con la comunicazione tra elaboratori

Ing. Gianluca Palli - Sistemi e Tecnologie per l'Automazione LM Architetture e tecnologie 19

COMPONENTI DELLO SCHEMA TECNOLOGICO GENERALE PER UN SISTEMA DI CONTROLLO

Ing. Gianluca Palli - Sistemi e Tecnologie per l'Automazione LM Architetture e tecnologie 20

Componenti dello schema tecnologico generale

Unità di Elaborazione

Tecnologie:

■ Electronica Digitale di tipo programmabile + Informatica

- Diversi tipi: PC, microcontrollori, microprocessori, DSP, etc.
 - Prestazioni, caratteristiche
- Dominante (come implicitamente detto in precedenza)
 - Ma non è "da usare sempre"

■ In passato il controllore era "tecnologicamente omogeneo" con l'impianto controllato

- es. regolatore di Watt
- non vi era netta distinzione tra controllore e impianto (non erano ancora chiari il concetto di controllo e retroazione)

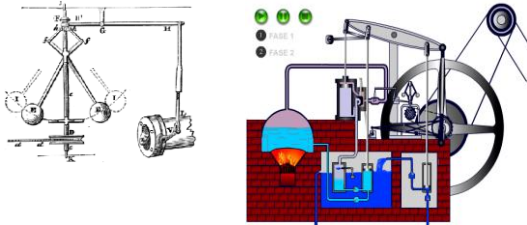
Ing. Gianluca Palli - Sistemi e Tecnologie per l'Automazione LM Architetture e tecnologie 21

Componenti dello schema tecnologico generale

Unità di Elaborazione

Tecnologie:

- **Regolatore di Watt**



Ing. Gianluca Palli - Sistemi Tecnologie per l'Automazione LM Architetture e tecnologie 22

Componenti dello schema tecnologico generale

Unità di Elaborazione

Tecnologie:

- **Vantaggi dell'informatica - elettronica digitale per i sistemi di controllo complessi:**
 - **POTENZA COMPUTAZIONALE / AFFIDABILITA' NEL TEMPO**
 - **FLESSIBILITÀ**
 - **INTERAZIONE CON L'OPERATORE**
 - **INTERFACCIAMENTO CON L'ESTERNO**
- **Problemi dell'informatica - elettronica digitale per i sistemi di controllo complessi:**
 - **CAMPIONAMENTO**
 - **QUANTIZZAZIONE**

(vedi "sistemi di controllo digitale")

Ing. Gianluca Palli - Sistemi Tecnologie per l'Automazione LM Architetture e tecnologie 23

Componenti dello schema tecnologico generale

Unità di Elaborazione

Tecnologie:

- **Informatica - elettronica digitale:**
Tecnologie Elettroniche e Informatiche "particolari" per le applicazioni di controllo
 - **Necessità di rispettare vincoli di tempo**
 - **Soluzione:**
 - **elettronica "ad hoc"**
 - **informatica di tipo Real Time**
 - (accenni alle problematiche di elaborazione real-time in seguito)

Ing. Gianluca Palli - Sistemi Tecnologie per l'Automazione LM Architetture e tecnologie 24

Componenti dello schema tecnologico generale

Unità di Elaborazione

Tecnologie:

- **Attenzione: per sistemi semplici e che non necessitano di frequenti riconfigurazioni i controllori inglobati nell'impianto sono ancora i più utilizzati (ed anche i più ragionevoli)**
 - es. **pressostato** per sistemi ad iniezione nei motori endotermici
 - **regolatori di livello**, pressione o portata diffusi in applicazioni idro/oleodinamiche

Componenti dello schema tecnologico generale

Unità di Elaborazione

Tecnologie:

- **Altre soluzioni: Elettronica Analogica e Elettromeccanica**
- **Le unità di elaborazione basate su elettronica analogica o elettromeccanica (interruttori e relays), molto usate in passato, sono in deciso declino**
 - **I primi controllori "classici" tempo-continui** → elettronica analogica
 - **I primi controllori di sequenze** → elettromeccanica
 - NB: la "logica a contatti e relays" consente di riprodurre tutte le funzioni combinatorie e sequenziali delle reti logiche
 - ◆ Ripreso in seguito...

Componenti dello schema tecnologico generale

Unità di Elaborazione

Tecnologie:

- **Le unità di elaborazione basate su elettronica analogica o elettromeccanica (interruttori e relays) sono praticamente scomparse o "in via di estinzione"**
- **Importanti eccezioni:**
 - 1) applicazioni di ctrl "classico" dove il compromesso costo / tempo di campionamento è critico → elettronica analogica
 - **oppure elettronica digitale cablata o microprogrammata (PLD, FPGA)**
 - es.: **controllori di corrente per elettrovalvole**

Componenti dello schema tecnologico generale

Unità di Elaborazione

Tecnologie:

- Le unità di elaborazione basate su elettronica analogica o elettromeccanica (interruttori e relays) sono praticamente scomparse o "in via di estinzione"
- **Importanti eccezioni:**
 - 2) applicazioni di ctrl di sequenze "semplici" e con poca flessibilità → **elettromeccanica**
 - spesso **eredità delle soluzioni passate**
 - es.: **quadri per il controllo di ascensori (vecchi...)**

Ing. Gianluca Palli - Sistemi Tecnologie per l'Automazione LM Architetture e tecnologie 28

Componenti dello schema tecnologico generale

Sistemi di Comunicazione tra Elaboratori

- **Per Unità di Elaborazione Elettroniche**
 - **Soprattutto digitali**
- **Comunicazione tra unità di elaborazione**
 - **Digitale (raramente analogica, eredità del passato)**
 - **Soluzioni punto-punto (spesso secondo lo schema funzionale)**
 - Canali dimensionati secondo il traffico
 - **Bus/Rete: Supporti standard (FieldBuses o varianti di Ethernet)**
 - Cablaggio semplificato



Ing. Gianluca Palli - Sistemi Tecnologie per l'Automazione LM Architetture e tecnologie 29

Componenti dello schema tecnologico generale

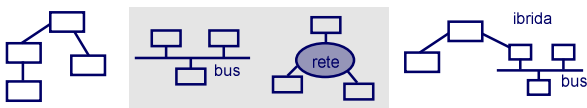
Sistemi di Comunicazione tra Elaboratori

- **Maggiori prospettive: Bus/Rete standardizzati**
 - **Riutilizzo, indipendenza dalla gerarchia funzionale**
 - **Facile espandibilità/modularità/intercambiabilità**
 - Problema: standardizzazione a livello di applicazione...

Problemi per il controllo:

- ritardi
- **determinismo (collisioni)**

dipendenza del numero di nodi e del traffico tra i nodi ⇒ attenzione al riutilizzo



Ing. Gianluca Palli - Sistemi Tecnologie per l'Automazione LM Architetture e tecnologie 30

Componenti dello schema tecnologico generale

Sensori ed Interfacciamento

■ Sensori: trasferire l'informazione dal dominio del sistema fisico al dominio del sistema di elaborazione

- Tipicamente "dominio di arrivo" è elettrico (elaboratori elettronici)

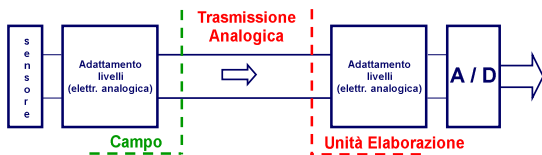
■ Interfacciamento

- Spesso sensori: uscita elettrica analogica → Adattamento livelli + Conv. A/D
- Spesso unità elab. digitali
- Sensori lontani da unità elab. → Trasmissione

Componenti dello schema tecnologico generale

Sensori ed Interfacciamento

■ Architetture di interfacciamento:



- Generalmente: segnale da sensore (corrente o tensione) adattato in livello e/o convertito (tensione/corrente) e trasmesso
 - No tecniche "particolari" (modulazione etc.)
 - Bassa frequenza del segnale: no fenomeni di propagazione
- Trasmissione punto-punto (raramente più elab. in ricezione)
- Vantaggio: semplice; Svantaggi: EMC; Cablaggi con molti sensori

Componenti dello schema tecnologico generale

Sensori ed Interfacciamento

■ Architetture di interfacciamento:



- Vantaggi: Robustezza EMC; Flessibilità; Bus o rete digitale (cablaggi più semplici, integrazione con sistema con unificazione tra elab.)
- Svantaggi: "Complessità" sul campo (alimentazione, ambiente ostile); Ritardi di comunicazione; Necessità di determinismo (NON BANALE)

Componenti dello schema tecnologico generale

Attuatori ed Interfacciamento

- **Attuatori: convertire il comando dal controllo in azioni sul sistema fisico (dominio e potenza)**
 - **Necessità di trasferire il comando dal dominio del controllo (elettrico) a quello del sistema fisico, erogando, in genere, elevata potenza**
 - **Convivono ambiti "di segnale" e ambiti "di potenza"**
- **Interfacciamento:**
 - **Problematiche duali rispetto ai sensori**
 - **Soluzioni simili**
 - **Spesso "intelligenza locale" al trasduttore ⇒ vero e proprio controllo**
 - **Es: azionamenti elettrici (più avanti)**
 - ◆ **Curiosità: CtrI digitale, Azion. Digitale ma interf. analogico! (motivi storici)**

Componenti dello schema tecnologico generale

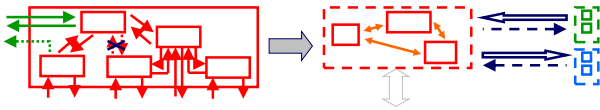
Comunicazione con l'esterno

- **Sempre con riferimento a elaboratori digitali**
- **BUS O RETI DIGITALI STANDARD**
 - **Applicazioni:**
 - **Interfaccia operatore**
 - **Comunicazione con i livelli superiori della piramide dell'automazione (supervisione/gestione)**
 - **Vincoli di determinismo e bassi ritardi meno stringenti**
 - **Reti di comunicazione standard**
 - **Ethernet**
 - **No carichi computazionali rilevanti per le unità di elaborazione**
 - **disaccoppiamento**

LINEE GUIDA PER MAPPARE UNO SPECIFICO SCHEMA FUNZIONALE IN UNO SCHEMA TECNOLOGICO

Mappatura Funzionale → Tecnologico

Obiettivo



- Dato lo schema funzionale di un particolare sistema di controllo
 - Conforme con lo schema funzionale generale
- Ricavare il corrispondente schema tecnologico
 - Conforme allo schema tecnologico generale
 - Altrimenti difficilmente realizzabile e non standard
 - Possibilmente ottimo: miglior compromesso costi / prestazioni
 - Prestazioni: anche flessibilità, espandibilità...

Ing. Gianluca Palli - Sistemi Tecnologie per l'Automazione LM Architetture e tecnologie 37

Mappatura Funzionale → Tecnologico

Linee guida proposte

- 1a) Definire per ogni algoritmo di controllo:
- la **tipologia di unità di elaborazione**
 - Elettronica digitale + informatica: PC, PLC, microcontrollore
 - Diverse "potenze elaborative"
 - Elettronica analogica e/o digitale microprogrammata
 - Elettromeccanica
 - (spesso scelte vincolate a priori)
 - le **specifiche implementative dettagliate**
 - Tempo campionamento
 - Risoluzione numerica
 - ...

Ing. Gianluca Palli - Sistemi Tecnologie per l'Automazione LM Architetture e tecnologie 38

Mappatura Funzionale → Tecnologico

Linee guida proposte

- 1b) Definire tipologia e specifiche di **sensori e attuatori** da usare
- Range / taglia
 - Precisioni
 -
- 2) **Raggruppare gli algoritmi di controllo** per:
- affinità della tipologia di unità di elaborazione
 - contiguità gerarchica ovvero dei sistemi fisici da controllare
 - definire insieme di unità di elaborazione da usare
 - Minimizzare numero / costi
 - Più algoritmi per unità di elab.: multitasking...
 - Tenere margine...

Ing. Gianluca Palli - Sistemi Tecnologie per l'Automazione LM Architetture e tecnologie 39

Linee guida proposte

- 3) Definire sistema di comunicazione tra sistemi di elaborazione e interfacciamento con sensori/attuatori
 - Possibilità di integrazione
 - Attenzione: esplicitare e soddisfare le richieste di velocità e determinismo in relazione alle applicazioni
Canali dedicati per comunicazioni/interfaciamenti critici
- 4) Definire il sistema di interfacciamento con l'esterno
 - Impatto minimo sulle altre funzionalità

NB: Ovviamente i vari passi possono richiedere la revisione dei precedenti

Linee guida proposte

Commenti:

Si è illustrato il “cosa fare” nei passi, non il “come”.
Per il “come” è necessaria conoscenza approfondita ed esperienza relativamente ai componenti dell'architettura tecnologica

Linee guida proposte

Commenti:

Definita l'architettura tecnologica,
inizia il progetto di dettaglio (o l'acquisto) delle varie parti

- Spesso eseguito da persone diverse (sistemi complessi)

E' fondamentale che eventuali problemi dell'architettura, emergano nelle prime fasi del progetto!

□

Meglio dedicare tempo all'inizio all'“analisi di insieme” piuttosto che partire direttamente col progetto di dettaglio (valido in generale)

In seguito...

Prossimi argomenti:

- **Analisi più approfondita dei componenti dello schema tecnologico generale**
 - **Aspetti progettuali per alcune parti**

- **Non si approfondirà l'operazione di mappatura**
 - **Adattata caso per caso**

- **Dopo l'approfondimento delle tematiche elettroniche e informatiche per le unità di elaborazione, digressione: progetto funzionale controllo di sequenze**

Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica
Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni per lo Sviluppo Sostenibile

Sistemi E Tecnologie per l'Automazione LM

**Architetture e Tecnologie
per i sistemi di controllo**
FINE

Ing. Gianluca Palli
DEI - Università di Bologna
Tel. 051-2093186
E-mail: gianluca.palli@unibo.it
<http://www-lar.deis.unibo.it/people/gpalli/>
