



POLITECNICO
DI TORINO

INVITANO AL
WORKSHOP



EMC
TORINO
27.11.2019
Politecnico di Torino
Day

PARTNER TECNICI



L'**elettronica di potenza** è una tecnologia abilitante che consente la regolazione di potenza ad alta efficienza ed affidabilità. L'elettrificazione dei trasporti (veicoli ibridi ed elettrici), gli azionamenti industriali compatibili con le nuove normative Industria 4.0, sono esempi dove l'elettronica di potenza ha un ruolo determinante.

Tuttavia, l'elettronica di potenza introduce anche effetti non desiderati, tra i quali l'emissione di disturbi ad alta frequenza, con conseguenze negative sulle apparecchiature circostanti.

Questo workshop dedicato alle problematiche EMC intende affrontare **gli sviluppi tecnologici nel mondo della conversione della potenza e delle comunicazioni dal punto di vista della loro influenza sullo spettro elettromagnetico.**

Come nel passato, il workshop contiene un tutorial dedicato alle tecniche di riduzione delle emissioni dei dispositivi elettronici.

Novità di questa edizione saranno due momenti "face to face" rispettivamente con gli sponsor e con i relatori.

Durante la mattinata ci sarà un primo momento di confronto esclusivo con gli sponsor che saranno a disposizione dei partecipanti nell'area a loro dedicata.

Il seminario si concluderà con una sezione in cui ogni relatore sarà a disposizione per rispondere ad eventuali domande in maniera esclusiva.

PROGRAMMA

- 8:30** Welcome coffee e Registrazione
- 9:15** Welcome greetings
- 9:30** PEIC contributions in power electronics
R. Bojoi | G. Pellegrino | P. Guglielmi | E. Armando, Politecnico di Torino
- 9:50** IMQ LACE – What's new
G. Borio | S. Bonino, IMQ
- 10:10** Face to face with the sponsor
Asea Sistemi | Delo Instruments | ElectroRent | Keysight | PMM and Narda | Rohde & Schwarz | Volta
- 10:40** Battery chargers: topologies and future trends
P. Guglielmi | R. Bojoi, Politecnico di Torino
- 11:20** Enabling RF technologies for imaging automotive radar
R. Maggiore, Politecnico di Torino
- 12:00** Wide bandgap inverter for student race competition: design and integration issues
F. Stella | G. Pellegrino | E. Armando, Politecnico Torino
- 12:40** Light lunch
- 13:40** "BattMan": a battery monitor
E. Pasero, Politecnico di Torino
- 14:10** Automotive, Industriale, Radio: ambienti e test EMC sono ancora così scollegati?
R. Colombo, IMQ
- 14:50** Coffee Break
- 15:20** Introduzione ai filtri EMC
G. Borio, IMQ
- 16:00** Metodologie e soluzioni per la schermatura magnetica in ambito civile ed industriale
A. Canova, Politecnico di Torino
- 16:40** Face to face with relators
- 17:30** Chiusura lavori



**YOU
MAY NOT
LIKE IT,
BUT IT'S
MANDATORY!**



27 novembre 2019
8:30 -17:30
Politecnico di Torino
AULA MAGNA GIOVANNI AGNELLI
Corso Duca degli Abruzzi, 24
10129 Torino



Segreteria Organizzativa: IMQ
tel: + 39 02 5073281
eventiimq@imq.it



Iscriviti ora: clicca qui
<https://urly.it/333g6>

Workshop a partecipazione gratuita
fino a disponibilità posti (400)
Termine registrazione: 20 Novembre

**Gli interventi dei relatori saranno
in lingua italiana**



POLITECNICO
DI TORINO



Power Electronics Innovation Center (PEIC) contributions to power electronics

Radu Bojoi

**Chairman Power Electronics Center
Deputy Director Energy Department
Politecnico di Torino**

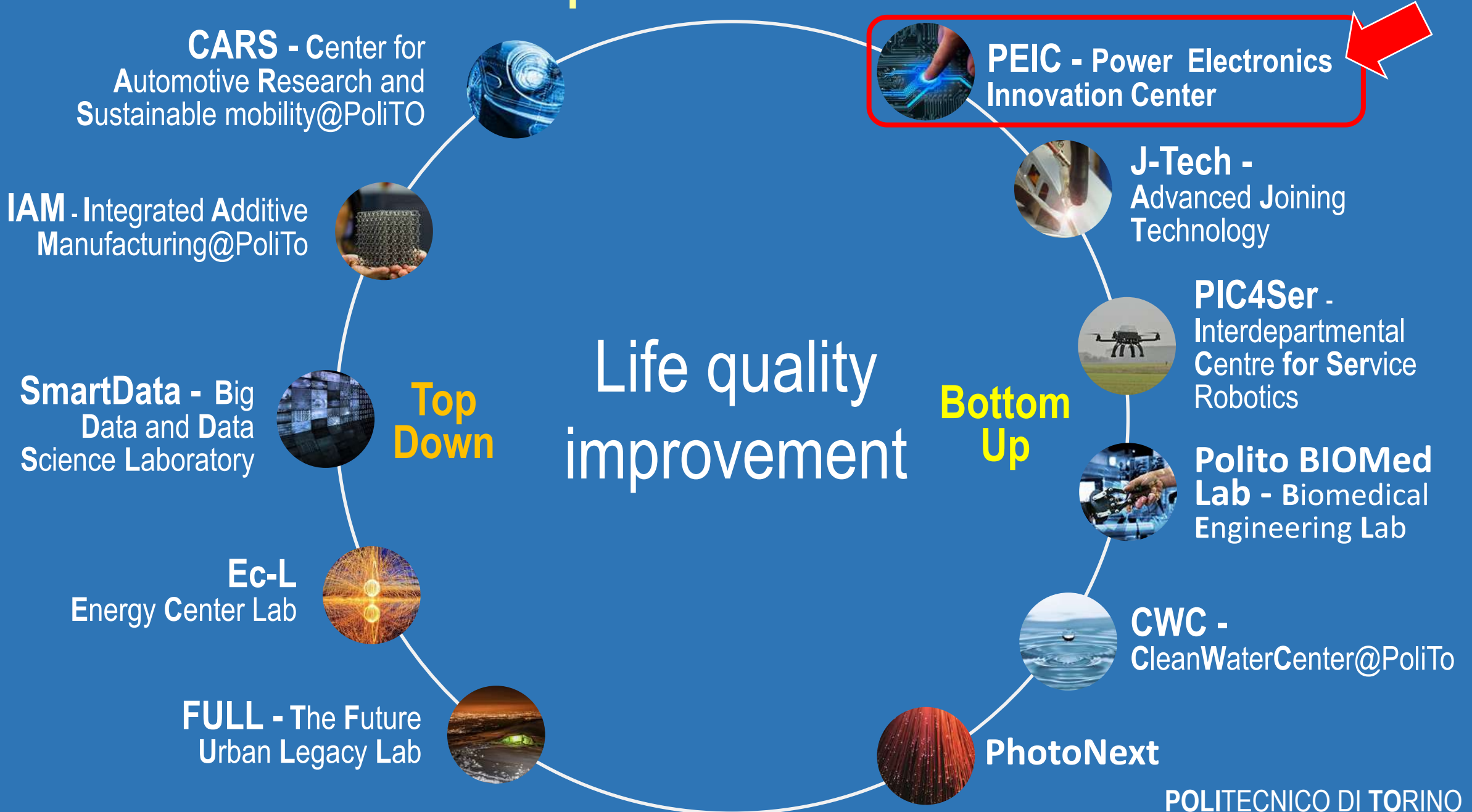
Modern world is
based on power
and its intelligent
management

Outline

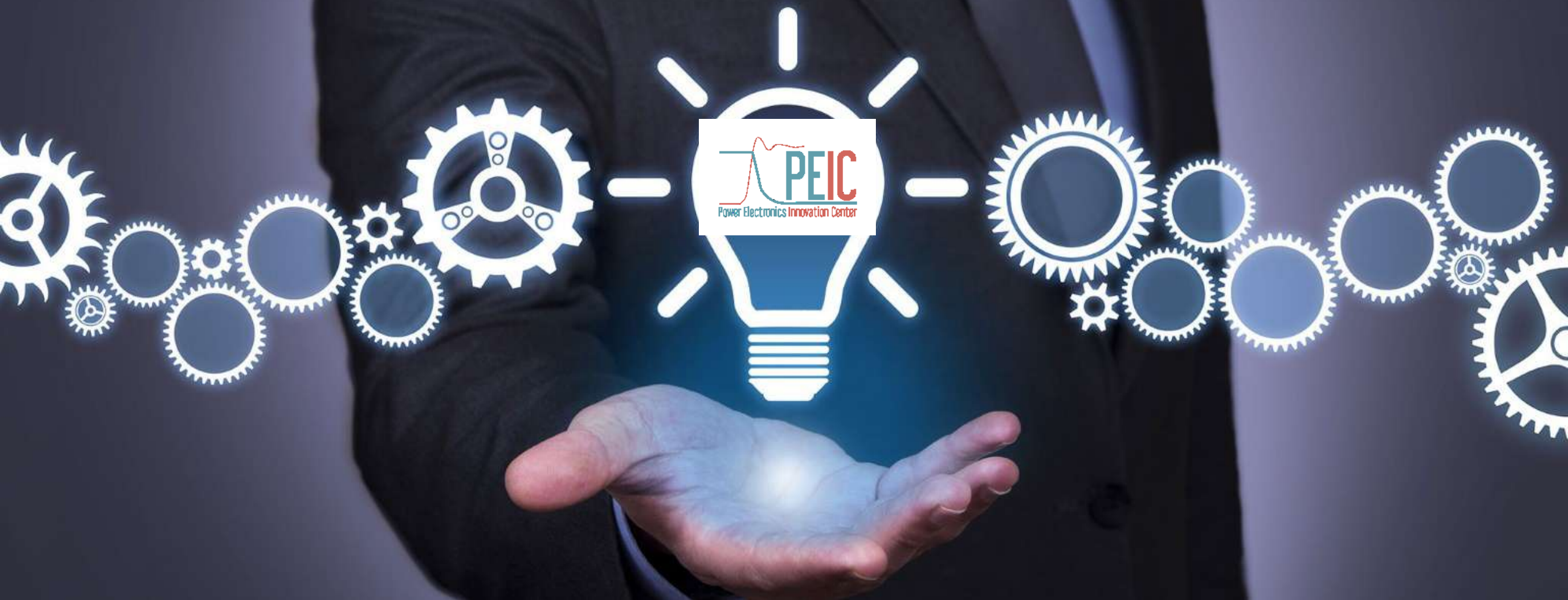
- **Power Electronics Innovation Center**
 - ✓ Power electronics : where
 - ✓ Our contributions to eMobility
 - ✓ Our contributions to Energy
- **Conclusions**



PoliTO interdepartmental research centers

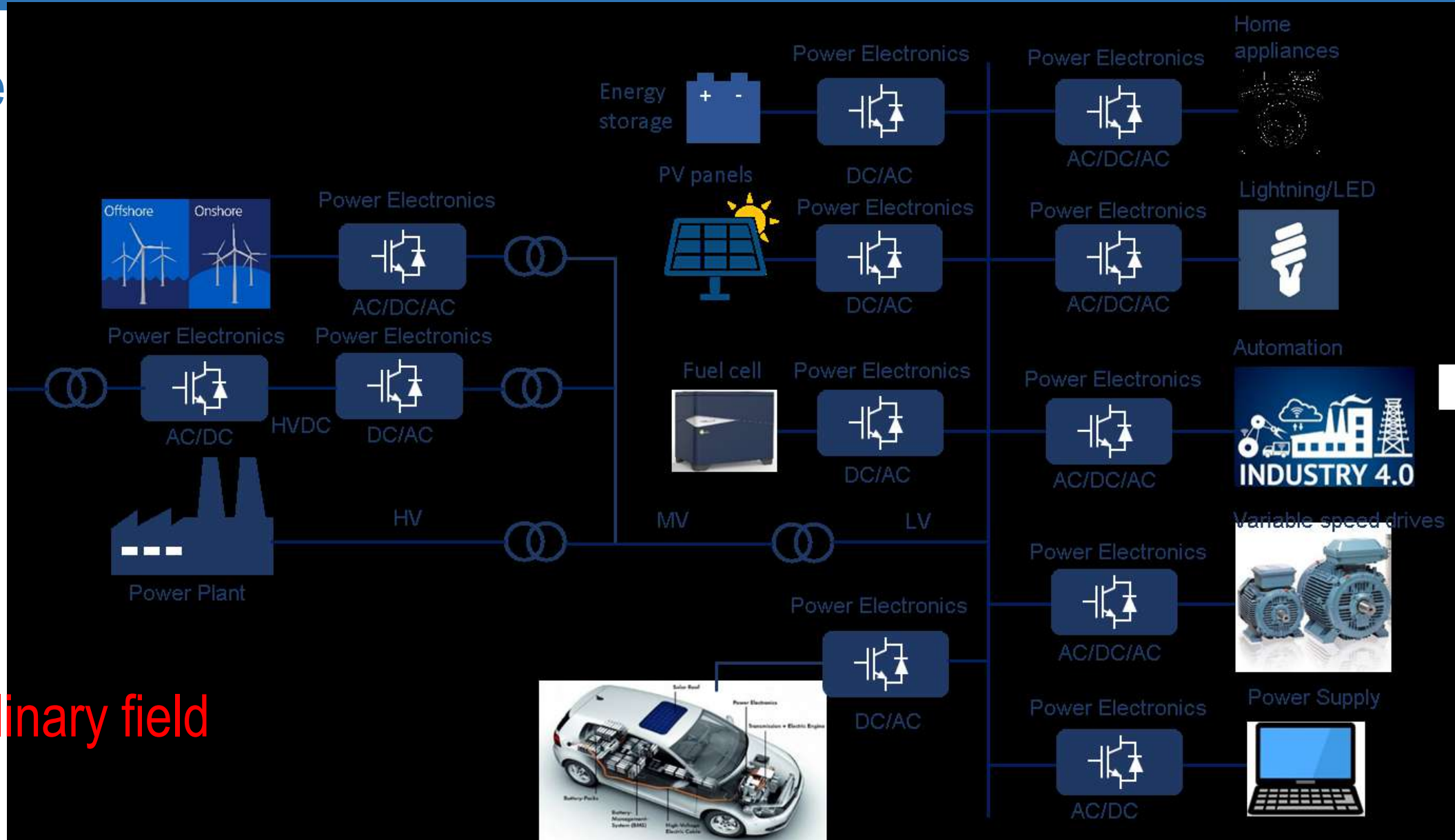


Power Electronics Innovation Center



Power Electronics = Where?

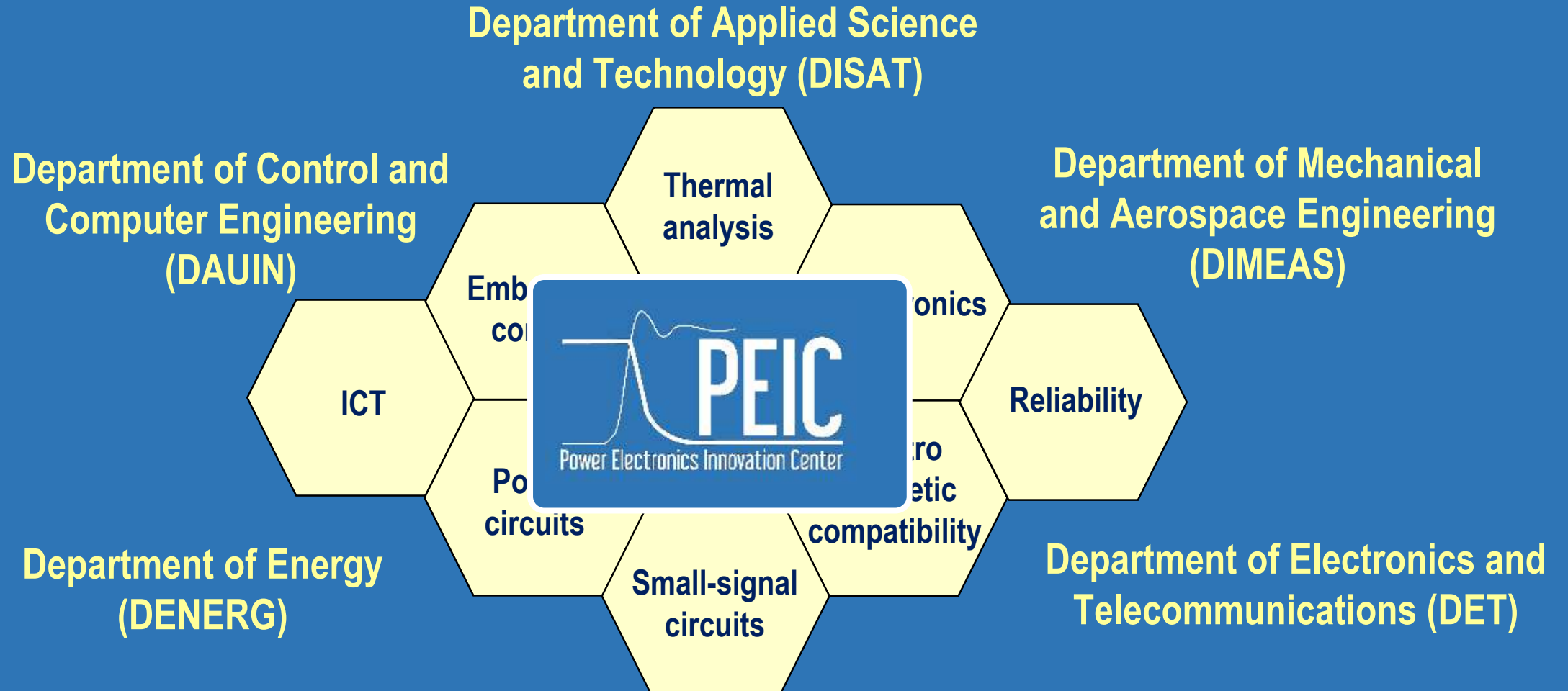
Enabling te



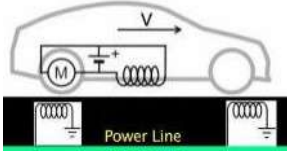
Multidisciplinary field

Power Electronics@PoliTO

Multidisciplinary area with individual knowledge existing inside PoliTO with excellent results



PEIC@POLITO Mission = Power conversion technology



Transportation electrification

- (1) e-Motors and Generators for vehicles and aircrafts
- (2) Wide bandgap power electronic converters and devices
- (3) Wired / Wireless battery chargers
- (4) Power electronics integration in powertrains and actuators
- (5) Reliability and safety analysis

Energy

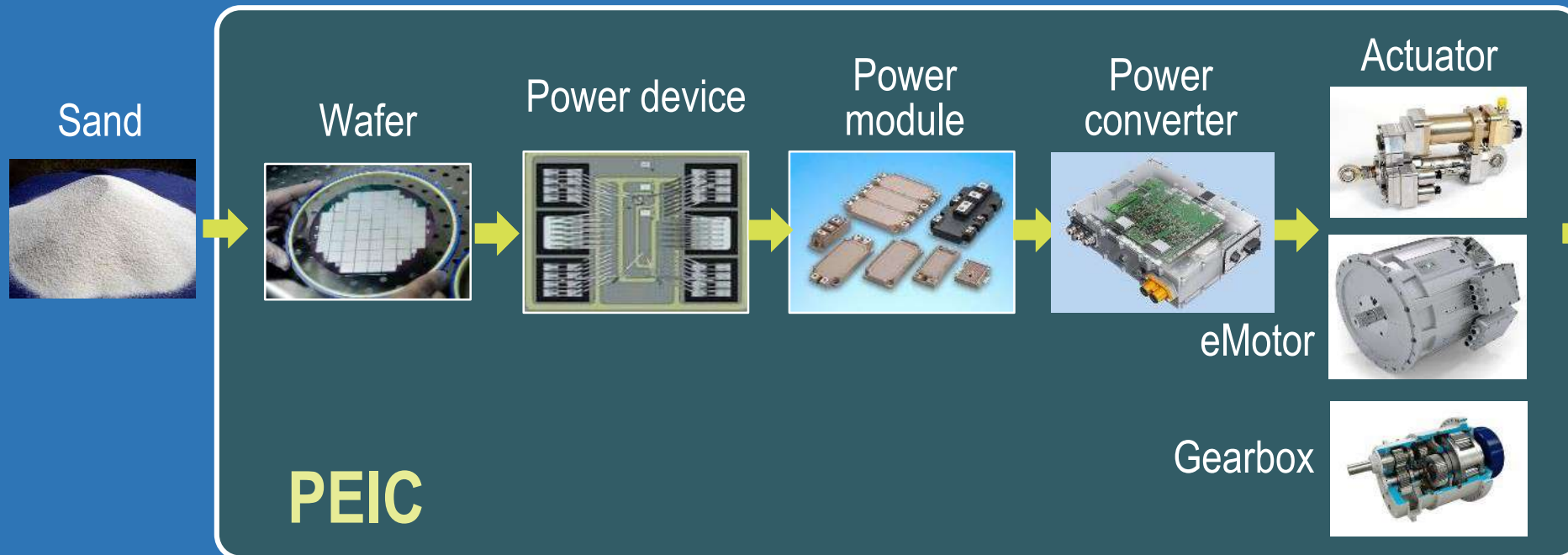
- (1) Power electronics for the energy generations from distributed resources
- (2) Virtual Synchronous Compensators
- (3) Power electronics for power quality
- (4) Impedance models for grid-connected power electronics
- (5) Photonics for power
- (6) Dependability analysis

Advanced production systems

- (1) Ultra high speed drives
- (2) High efficiency variables speed drives
- (3) Model based control and real time hardware-in-the-loop testing

PEIC@POLITO expertise

The PEIC expertise covers innovation from the wafer technology (Si and WBG) up to the final application (electrical or mechanical actuation)



Applications



PEIC includes 3D design, EMC, diagnostics, reliability and data transmission to the ICT

PEIC@PoliT0 – our contribution for eMobility

CO2 Reduction

Electrification

Urban eMobility

New Energy

- ✓ Design of eMotors* and gearbox*
- ✓ Design of HV power electronics* (inverters and DC-DC)
- ✓ eDrive model-based control*
- ✓ Onboard chargers (quick charge)

- ✓ Superfast conductive off-board chargers*
- ✓ DC distribution for charging infrastructure
- ✓ Wireless chargers
- ✓ Low power DC/DC chargers

- ✓ Power conversion for alternative sources (fuel cells)

* Ongoing contracts with private companies

PEIC@POLITO – battery chargers

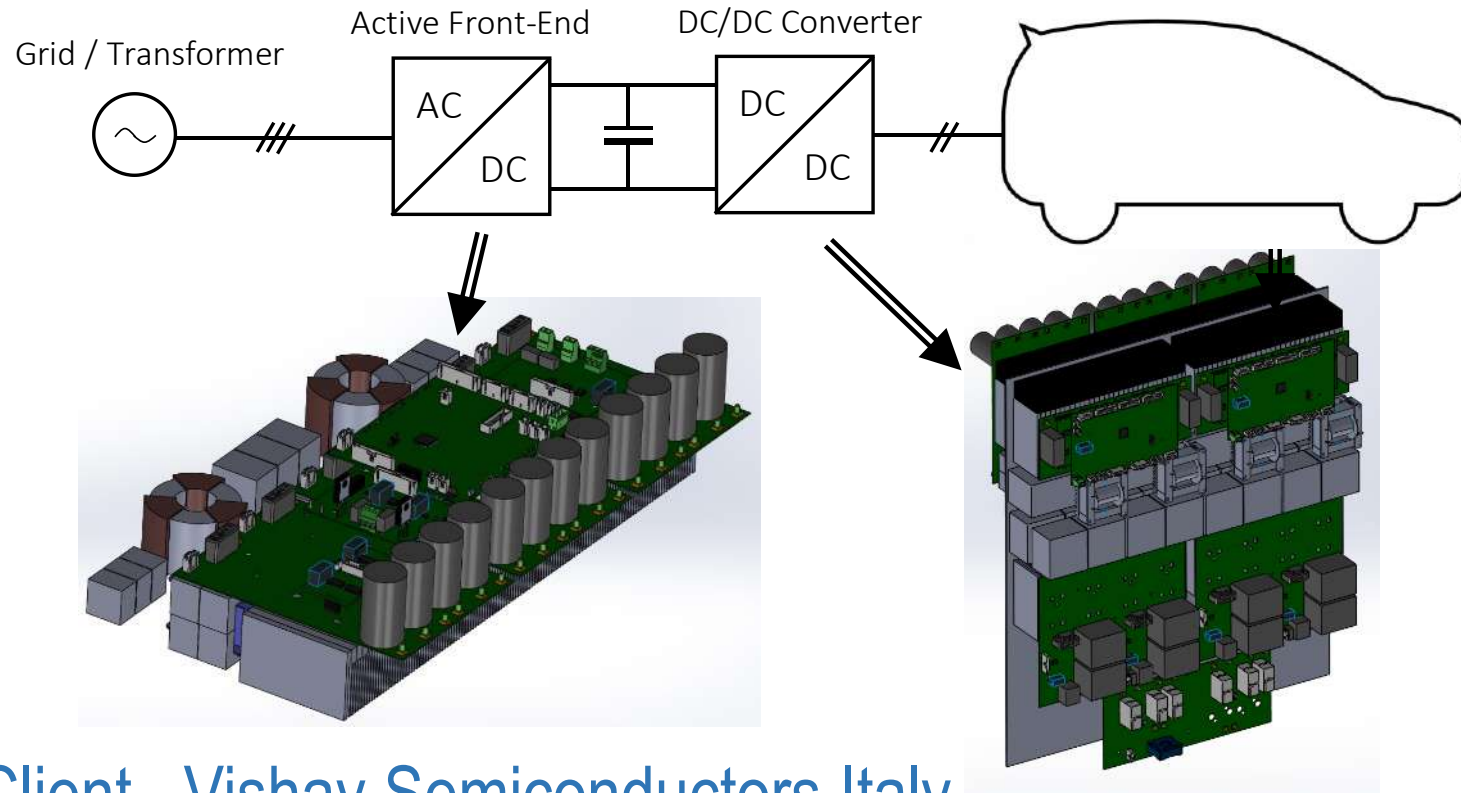
(1) 3.3 kW on-board battery charger with SiC devices (TRL4)



- ✓ Client –Vishay Semiconductors Italy for Electronica 2018 Exhibition (Munich)
- ✓ Contributions = Full design (hardware and control) with the objective of cost reduction while keeping maximum performance

PEIC@POLITO –battery chargers

(2) 60 kW module from superfast battery charger (TRL4)



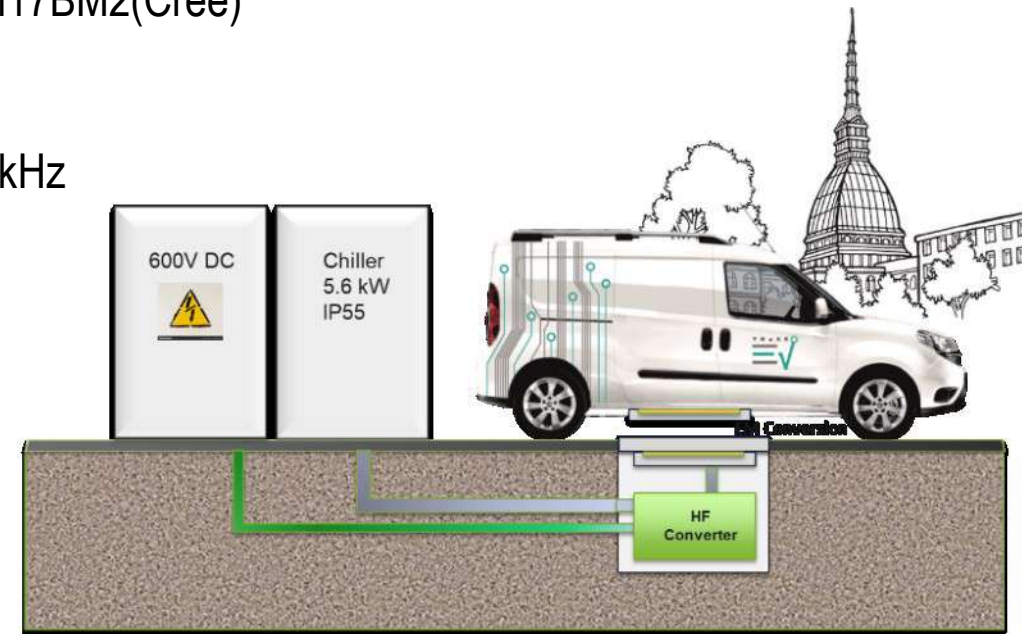
- Design (HW and SW)
- Simulation
- PCB
- BOM
- Components purchase
- Mounting & Testing

- ✓ Client –Vishay Semiconductors Italy
- ✓ Contributions = Full design (hardware and control) with the objective of cost reduction using conventional Si devices

(3) 100 kW SiC wireless battery charger (TRL7)



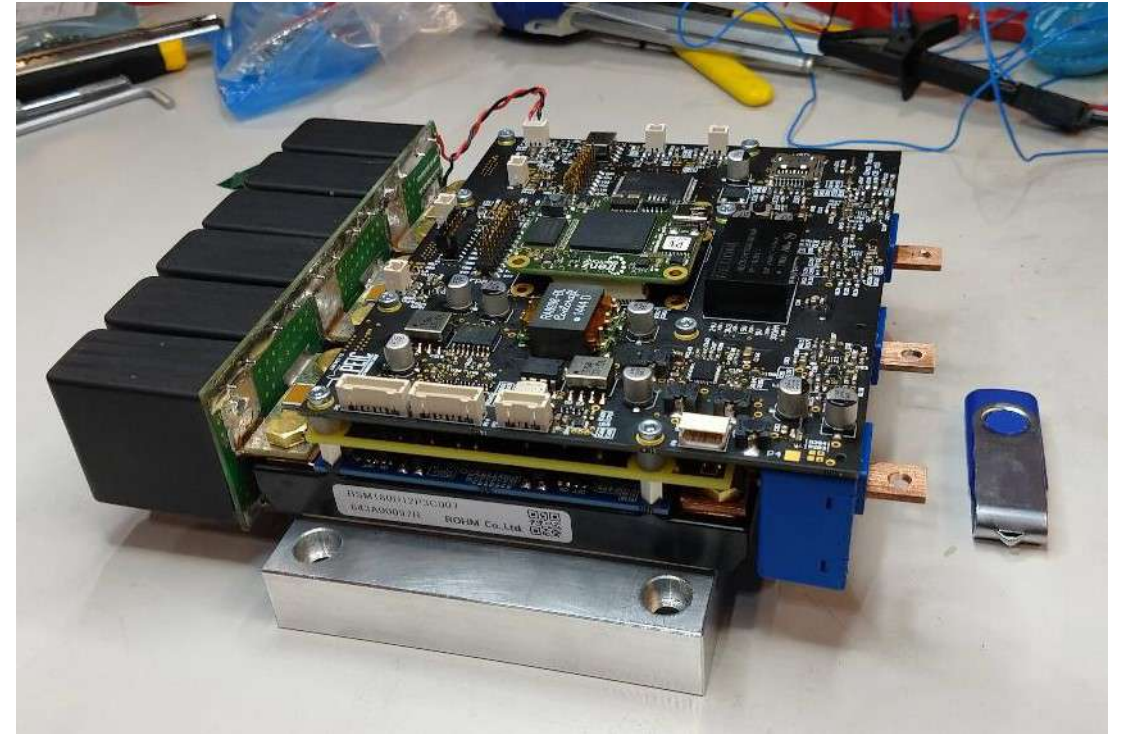
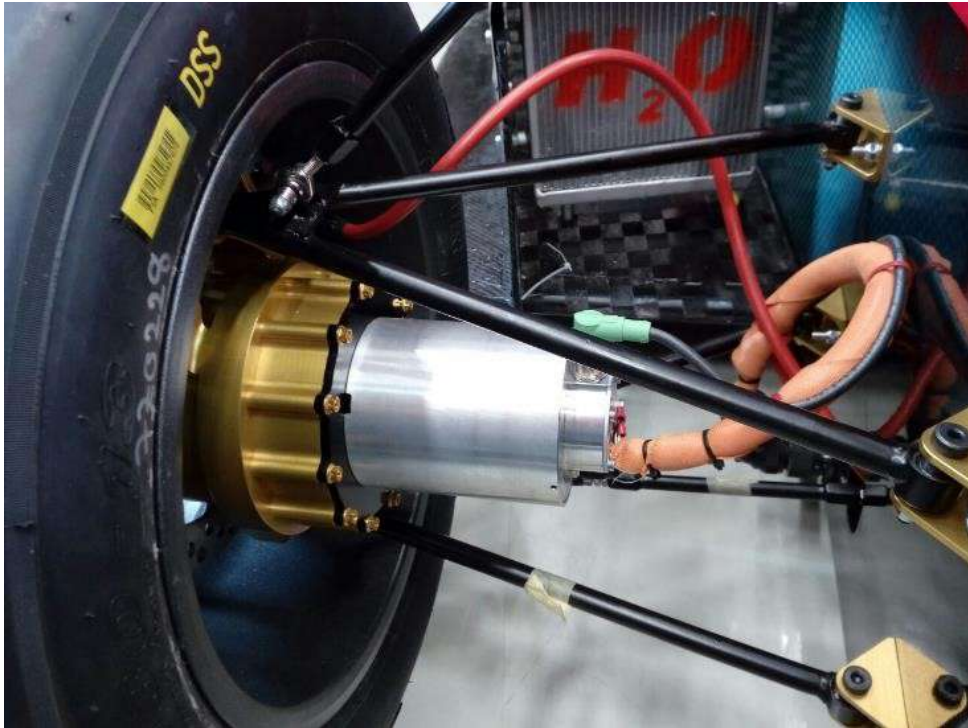
Power modules CAS300M17BM2(Cree)
 $V_{in}=650V$, $V_{out}=400V_{dc}$
Efficiency = 98 %
Switching frequency = 85 kHz
Liquid cooling



- ✓ ASSURED European founded project (2018-2021)
- ✓ Contributions = Full design with the objective of cost reduction while keeping maximum performance, EMF and EMC proved

PEIC@POLITO – SiC inverters for eMobility

(4) SiC inverter for PoliTO race team (TRL7)

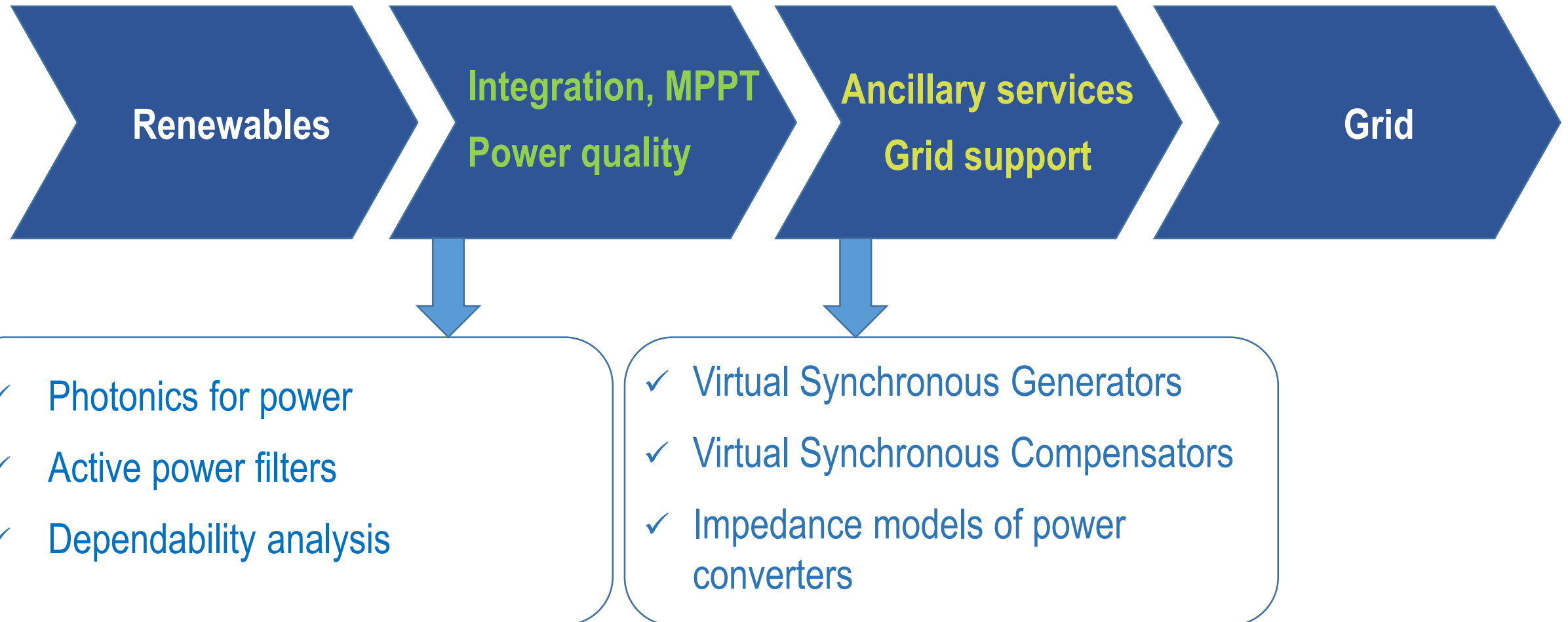


- ✓ Client = POLITO race team
- ✓ Contributions = design and prototyping



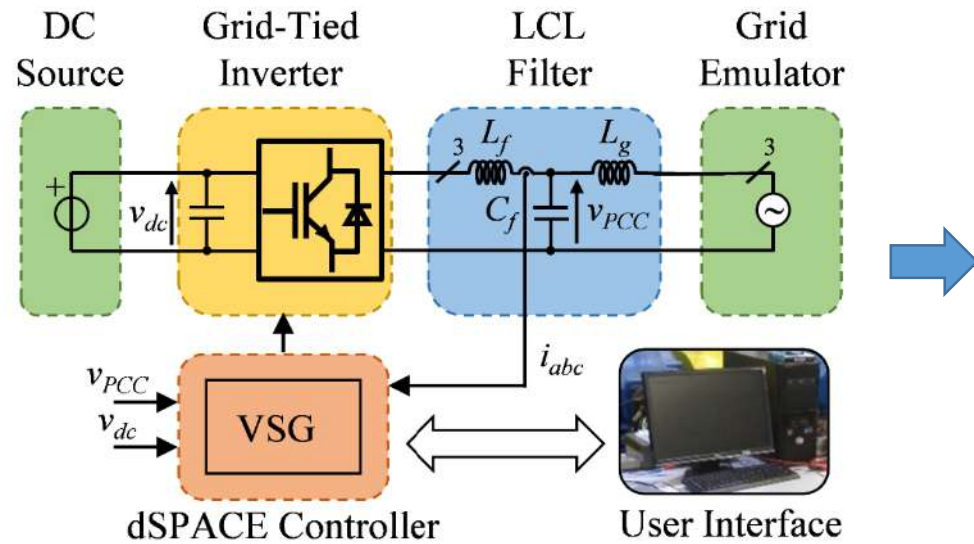
Real-time monitoring of temperatures for all power devices (MOSFETs and Diodes)

PEIC@PoliTO – our contribution for Energy

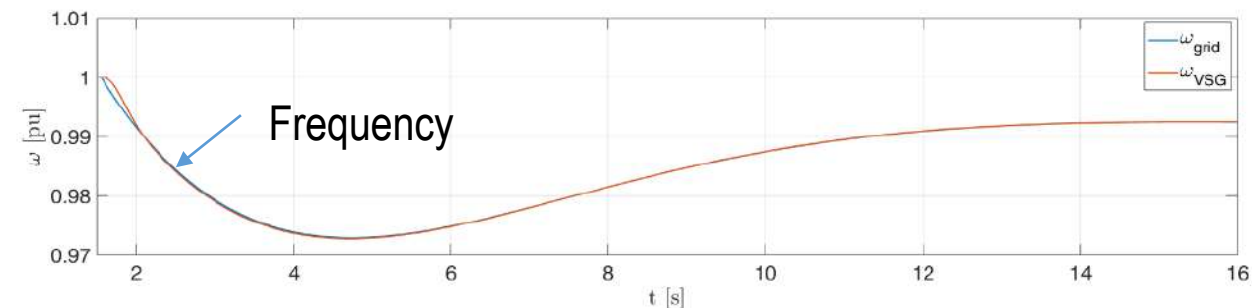
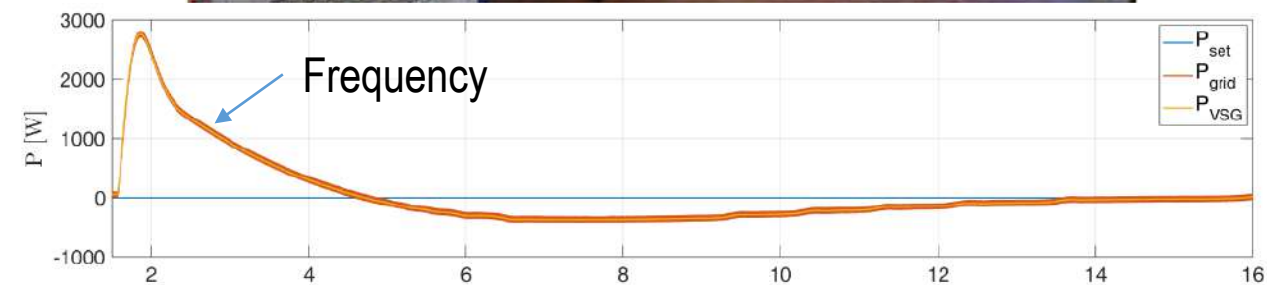


PEIC@POLITO – Grid support and ancillary services

(5) Virtual Synchronous Compensator (VSC)

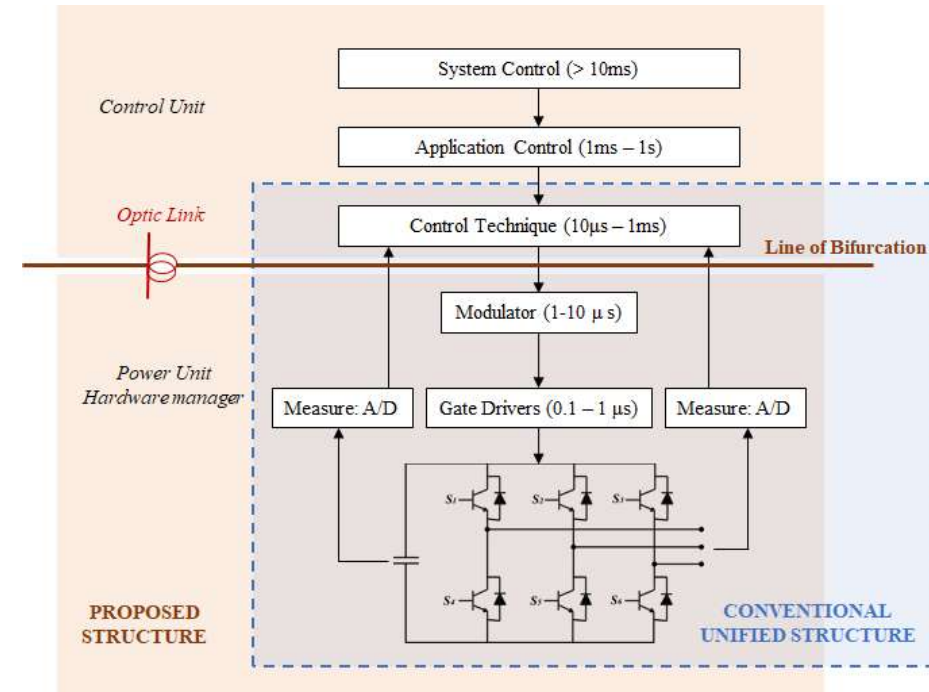
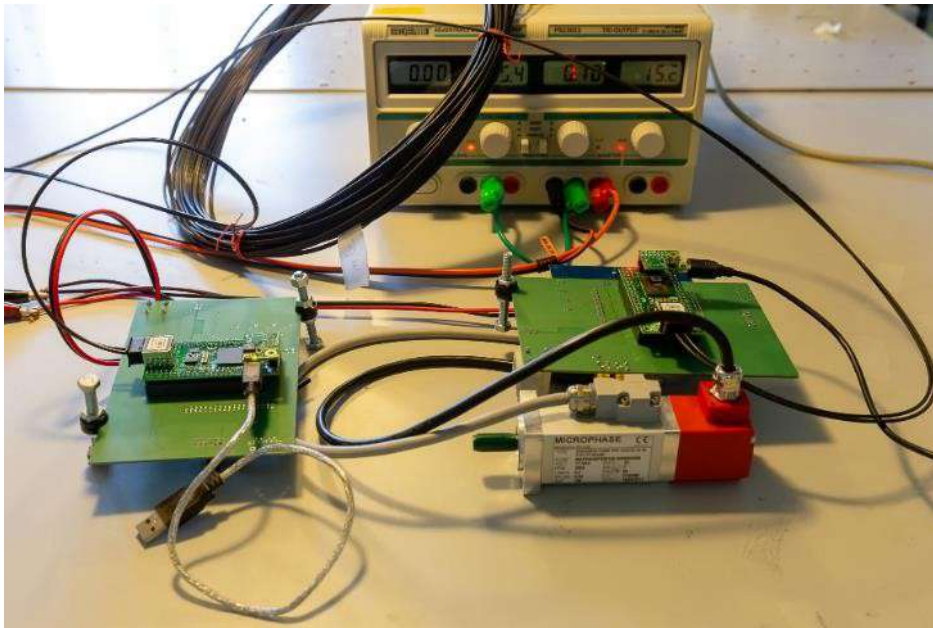


- ✓ Internal project (PhD)
- ✓ Virtual inertia (active power injected during frequency variations) and reactive support during grid faults




PEIC@POLITO – Photonics for power

(8) TRL3 demonstrator for a low power eDrive control using 40m optical fiber



- ✓ Immunity to EMI with high bandwidth using Plastic Optical Fiber (POF)
- ✓ Suitable for WBG power units

PEIC@POLITO – Call for partners

- **Power conversion for eMobility and Energy**
 - **EMC oriented design of power conversion**
 - **Nanotechnologies for power devices**
 - **Reliability analysis of power boards**
 - **Hardware-in-the-loop (HIL) and model-based control**
- 
- A conceptual image showing a human hand on the left reaching towards a digital hand on the right. The digital hand is composed of glowing blue binary code (0s and 1s) and is set against a background of a dark space with a grid of light blue lines and floating binary digits, suggesting a digital or virtual environment.

Cooperation forms with PEIC

- (1) Research contracts and consultancies on multidisciplinary applications
- (2) Sponsorship of PhD grants
 - ✓ 1 PhD grant cost is 100.000 Euros for 3 years
 - ✓ The PhD topics are selected to satisfy the company requirements while keeping a high academic research level to compete with international centers and universities
 - ✓ The company becomes PEIC core sponsor \Rightarrow privileged relationship with the center
- (3) Joint participation in specific European calls for financed projects
- (4) Internship for PhD students working in power conversion

Conclusions

- PEIC is dedicated to power conversion
- **Multi-disciplinary approach**
- Details on expertise and facilities can be found at <http://www.peic.polito.it>





POLITECNICO
DI TORINO



Thank You for Your Attention!

peic@polito.it

<http://www.peic.polito.it>

Modern world is
based on power
and its intelligent
management



POLITECNICO
DI TORINO



Battery chargers: topologies and future trends

Radu Bojoi, Paolo Guglielmi, Eric Armando

Politecnico di Torino, Dipartimento Energia “G. Ferraris”



@automotive #elettronica di potenza



TORINO
27.11.2019



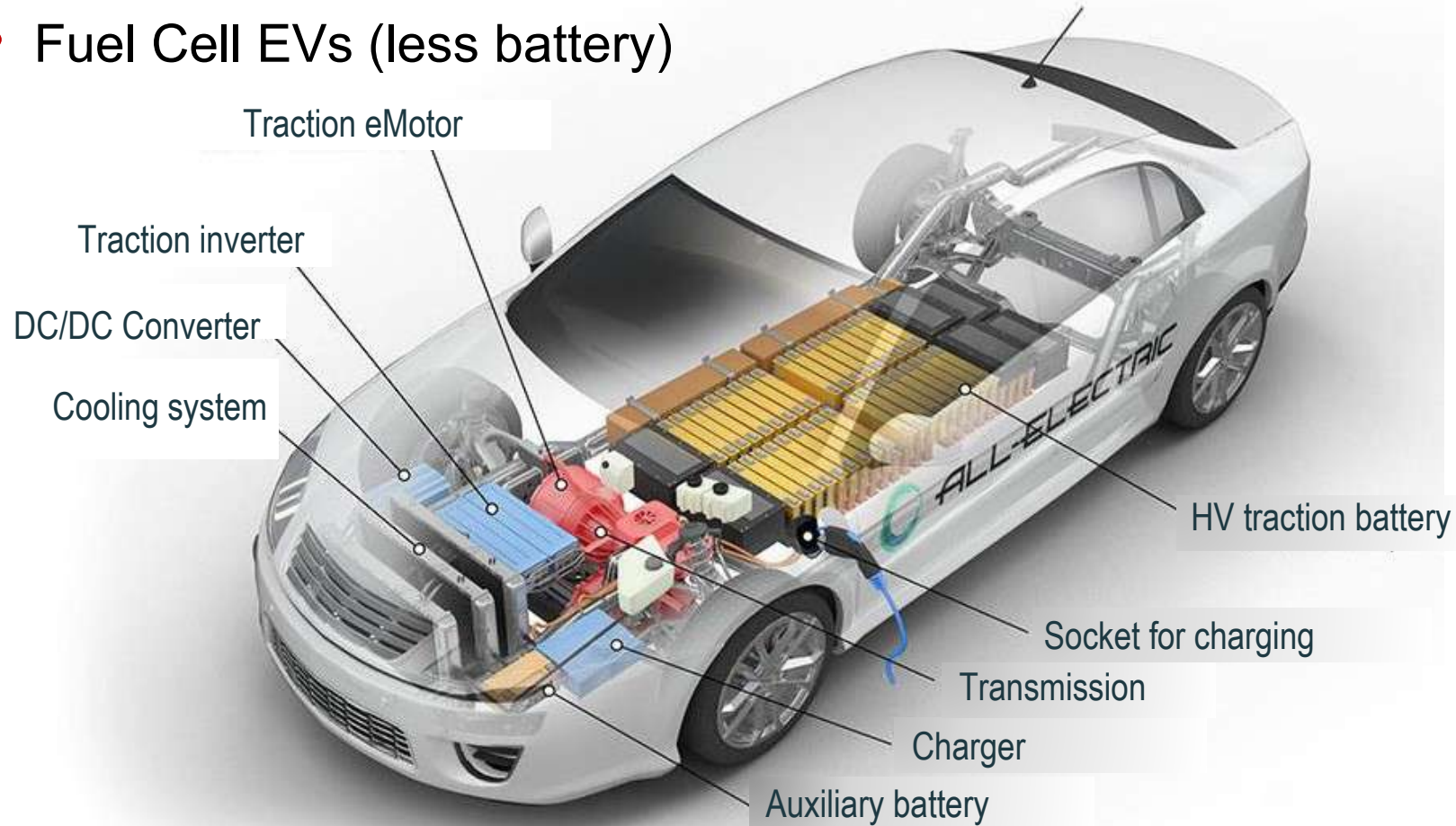
Outline

- Power electronics on an electrical vehicle
- Are the EVs behind the corner?
- Electrical energy and electrical power
- Conductive on-board and off-board battery chargers
- Future trends
- Conclusions

Power electronics in Battery powered Electrical Vehicles (BEV)

Similar architecture for

- Hybrid EVs (lower installed power)
- Fuel Cell EVs (less battery)



Energy source

- Traction HV battery (200-800V)
- LV auxiliary battery (12V)

Power electronics

- Traction inverter (>100 kW)
- On-board charger (22 kW)
- DC/DC Converter (3 kW)
- Auxiliary inverters (5 kW)

Electromechanical power conversion

- Electrical traction motor (eMotor)
- Mechanical transmission
- Steering drive

Cooling

- Heatsinks, radiators, pumps

Connectors and cables

Are the EVs behind the corner?

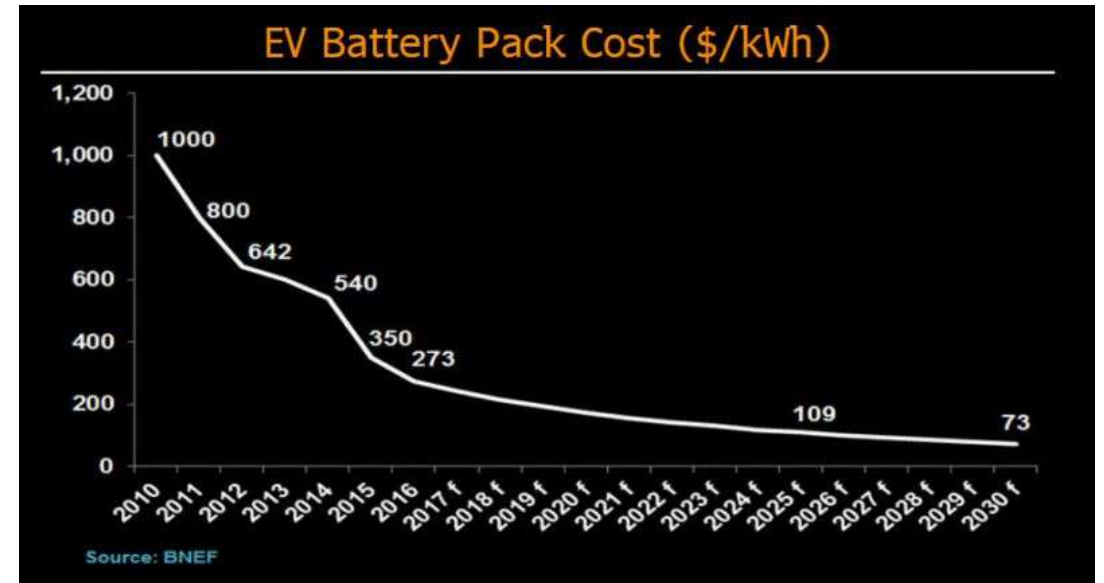
EV limits have been always indicated to be

Battery Cost and Vehicle autonomy:

- Battery packs PRICE down to less than 200 \$/kWh in 2018, less than 100 \$/kWh after 2024
- Energy density near 300Wh/kg in 2018, more than 350Wh/kg by 2024
- 30kWh will be 100kg for 3000\$

So now the issue is the Energy:

- Where do I charge the vehicles?
- How fast can I charge the vehicles?
- How I will pay the energy (if I will pay....)



Source: Bloomberg

**These are the new questions, than
NO EXCUSES: EVs ARE HERE!**

Most probably the impact of a 10-20% of EVs market penetration will:

- Not affect the actual grid distribution
- Reduce the EVs (and non EVs) cost
- **Stimulate new Renewable installations**
- Energy should be enough

Do not forget **the power** that can be a real problem if everybody want to charge at the same time...

- **Long stay, low power charge** (park-and-ride, offices, malls, large parking place in city centers)
- **Ultrafast charging solutions** (10 minutes), eventually with local storage

Conductive battery chargers: power levels, requirements, limits

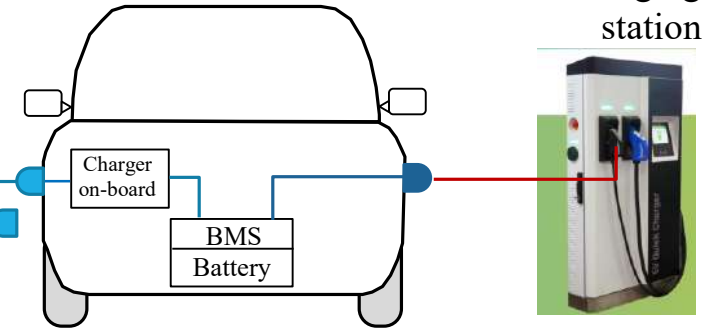
AC/DC power electronic converters

- **On-board** fed from dedicated AC charging station or from domestic outlets (3.3 kW, 22 kW)
- **Off-board** (DC charging stations) (≥ 50 kW)

AC charging station



DC charging station



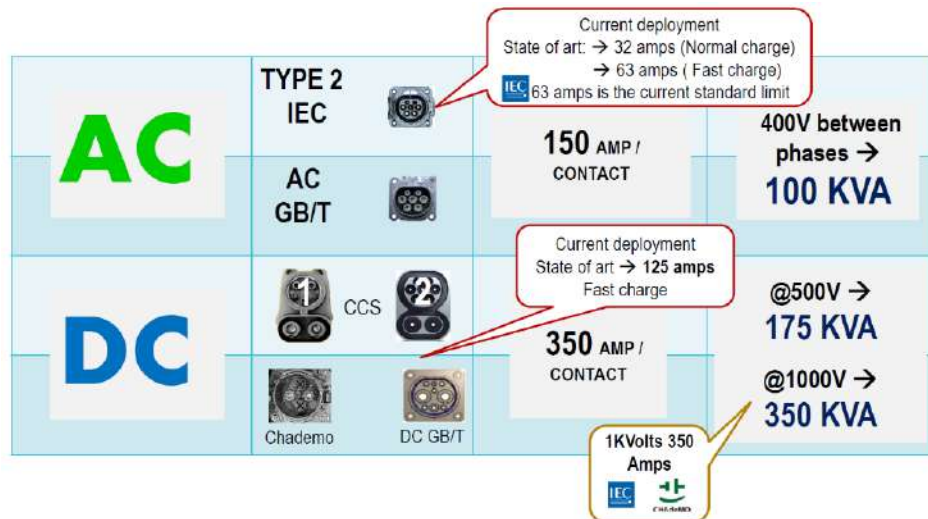
Power level and voltage level	Location	Utility	Supply equipment	Power	Charging time	Type of vehicle/Battery capacity
Level 1 120Vrms USA 230Vrms EU	Onboard 1-phase	Domestic charging	Domestic outlet	< 2 kW	4-11h 11-36 h	Hybrid (5-15 kWh) Electric (16-50 kWh)
Level 2 240Vrms USA 400Vrms EU	Onboard 1 or 3 phase	AC charging station	Dedicated EVSE	3.3 kW 7 kW 22 kW (quick charge)	1-4 h 2-6 h 1-2.5 h	Hybrid (5-15 kWh) Electric (16-50 kWh) Electric (20-50 kWh)
Level 3 (Fast) 208-600V AC or DC	Offboard 3-phase	DC charging station	Dedicated EVSE	50 kW 100 kW	0.4-1 h 0.2-0.5 h	Electric (20-50 kWh)
Level 4 (Ultrafast) 400-1000VDC	Offboard 3-phase	DC charging station	Dedicated EVSE	<350 kW	0.2-0.5 h	Electric (50-100 kWh)

+ Installed power
= - Charging time
=+ Costs

Conductive battery chargers: power levels, limits, challenges

The absolute power limits are given by the maximum currents supported by the sockets and plugs

- **On-board** : maximum current 150 Arms \Rightarrow 100 kW @400Vrms (three-phase)
- **Off-board** : maximum current 350A_{dc} \Rightarrow 350 kW @1000V_{dc}
(connectors CCS – Combined Charging System and CHAdeMO)



Type 1	Type 2	CHAdeMO	CCS	Tesla Type 2
3-7kW 1-phase	3-43kW 1/3-phase	50kW	50kW	50-120kW
Slow (AC)	Slow, Fast, Rapid (AC)	Rapid (DC)	Rapid (DC)	Rapid (DC)

Conductive battery chargers: power levels, limits, challenges

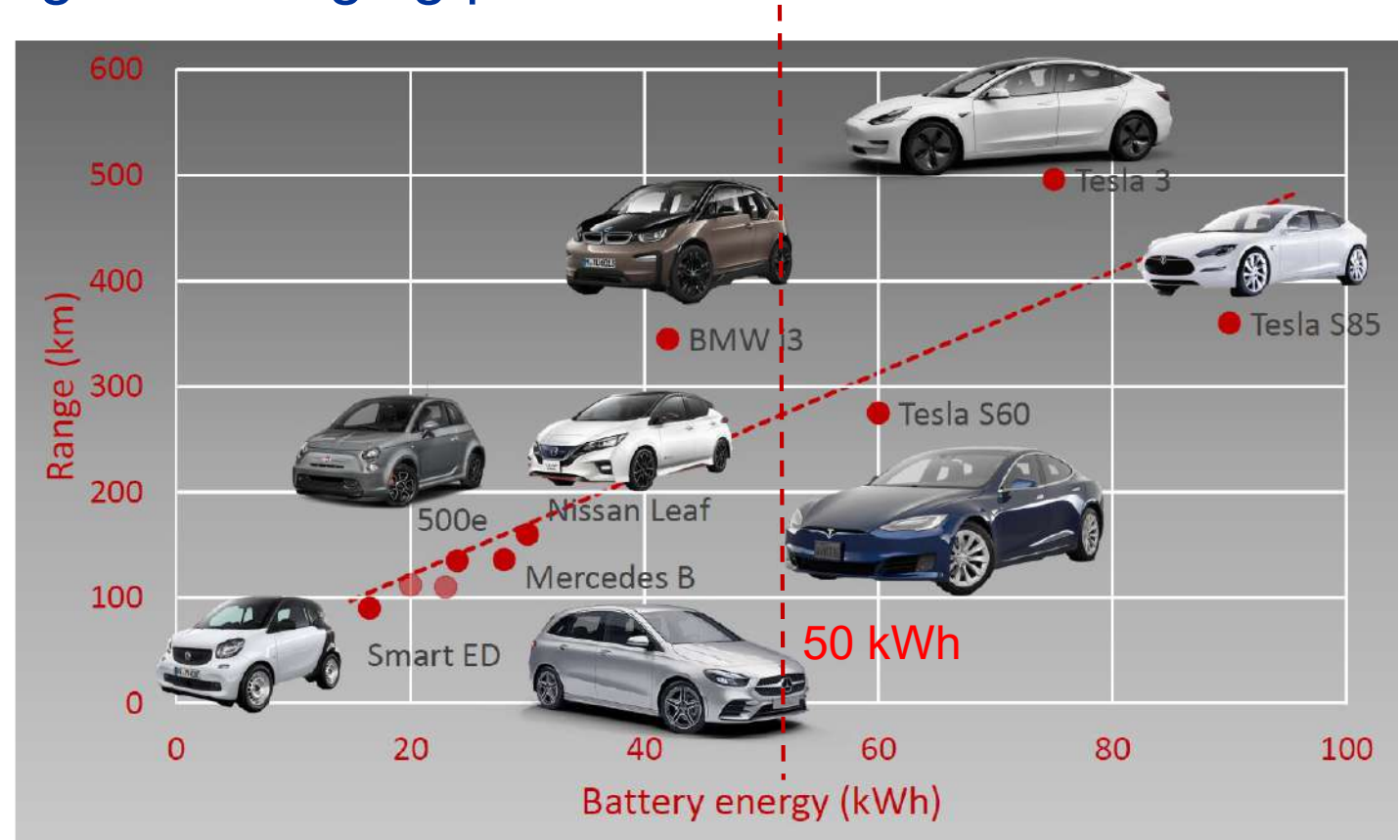
Battery capacity (kWh) = vehicle range

Battery voltage (V) = less current for given charging power

Considering a 50 kWh energy recharge in about 10 minutes



Off-board superfast DC chargers with power up to 350 kW



PEIC@POLITO = Our contribution for eMobility

CO2 Reduction

Electrification

eMobility

New Energy

- ✓ Design of eMotors* and gearbox*
- ✓ Design of HV power electronics* (inverters and DC-DC)
- ✓ eDrive model-based control*
- ✓ On-board chargers (quick charge)

- ✓ Superfast off-board charger*
- ✓ DC distribution for charging infrastructure
- ✓ Wireless chargers
- ✓ Low power DC/DC chargers

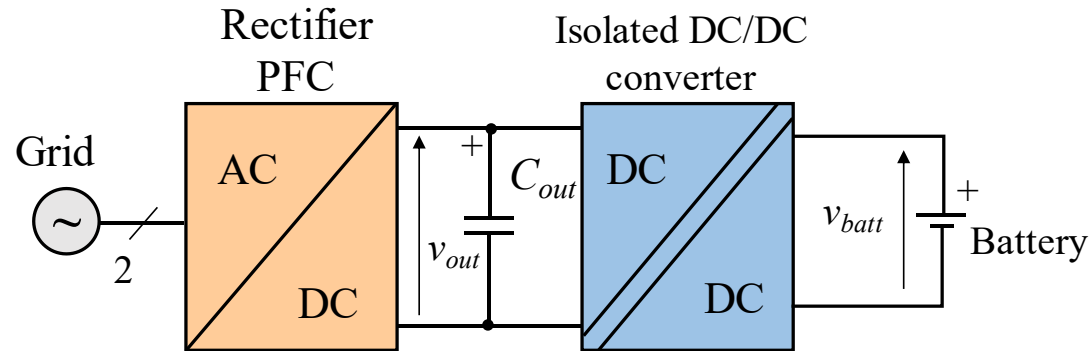
- ✓ Power conversion for alternative sources (fuel cells)

* Ongoing contracts with private companies

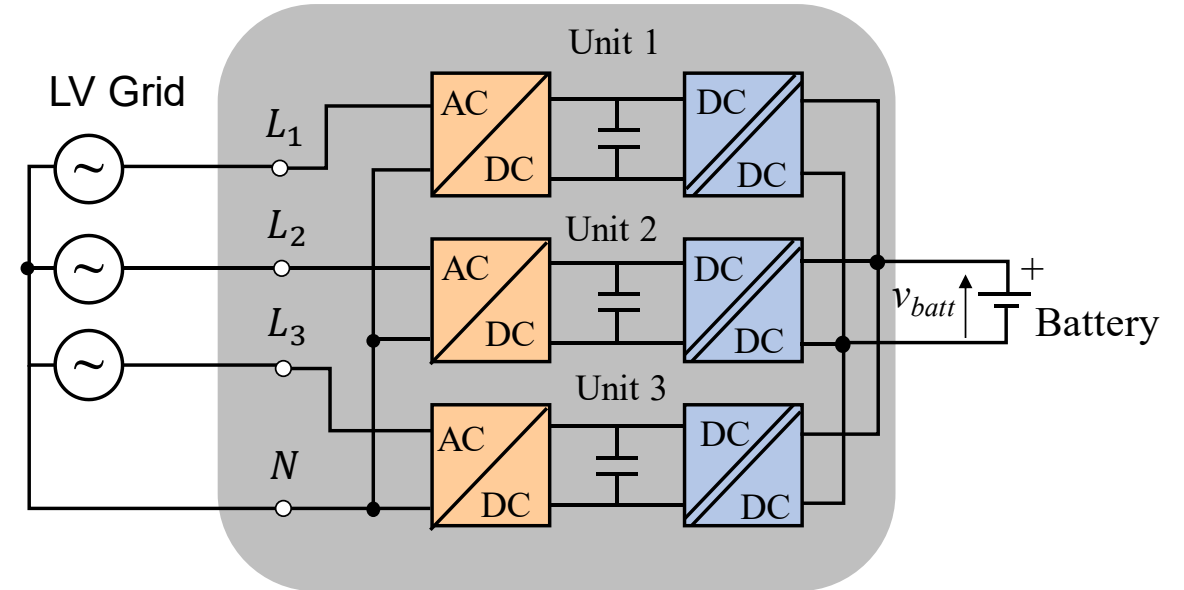
On-board battery chargers

AC-DC power conversion (typically unidirectional) with two-stage topology

- PFC rectifier
- Isolated DC/DC converter with High Frequency (HF) transformer



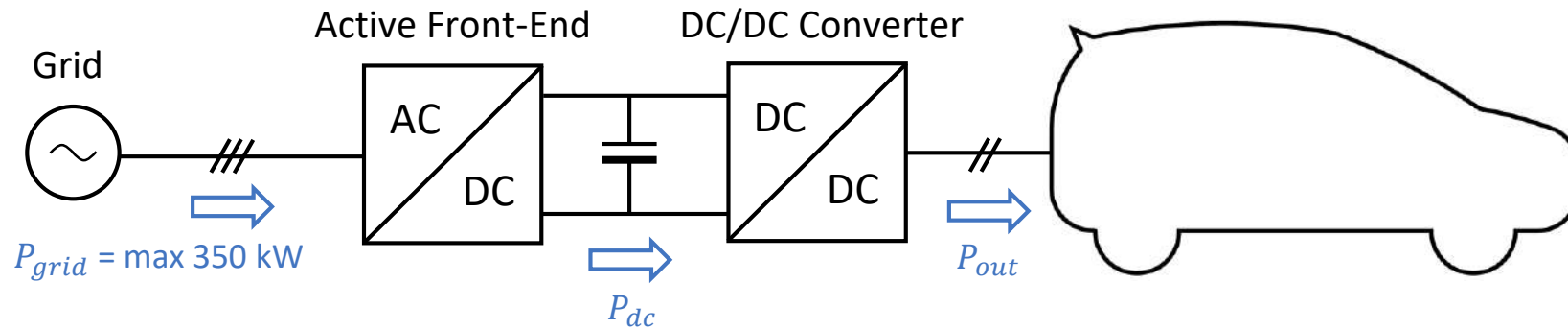
Single-phase
3.3 kW, 16Arms



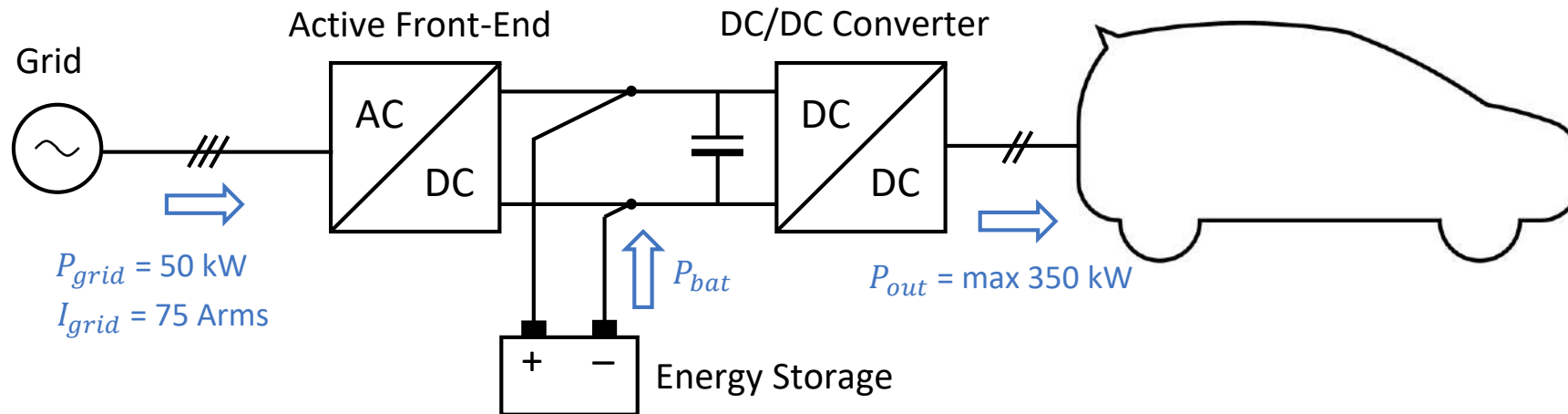
Three-phase
22 kW (3 × 7 kW) (three-phase), max 32Arms

Off-board battery chargers

Traditional configuration

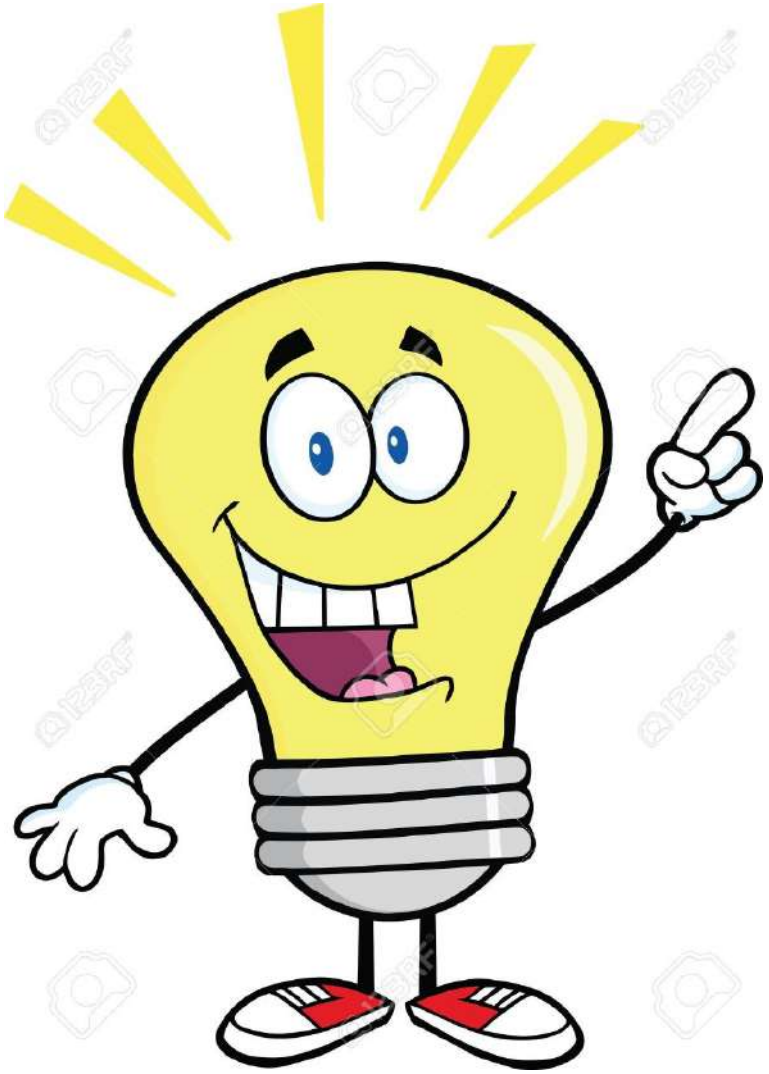
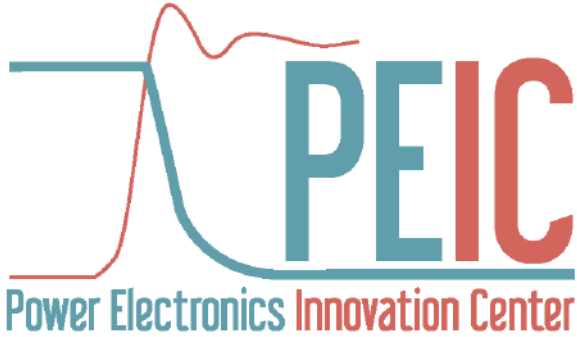


Configuration with integrated energy storage



CHAdeMo DC Fast EV Charger





3.3 kW single-phase on-board charger

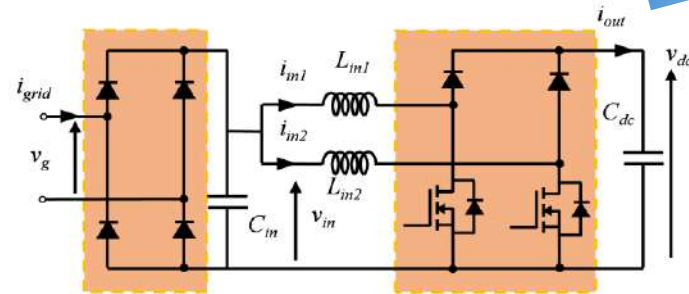
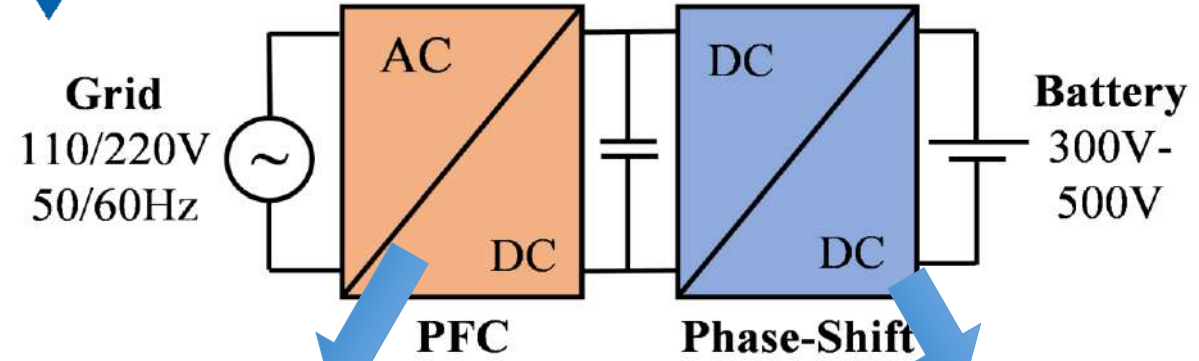
TRL4 demonstrator

Client: Vishay Semiconductors Italy

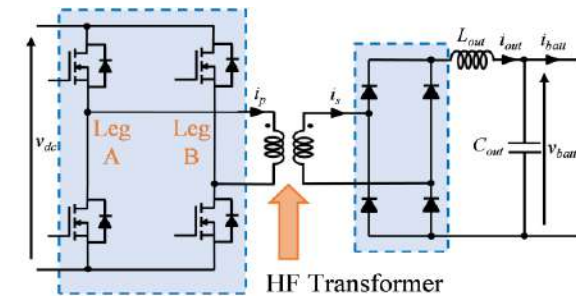


Features:

- MCU-based full digital control
- DCM operation for switching loss reduction
- PFC = SiC Mosfets
- DC-DC = Si Mosfets
- 100 kHz
- Efficiency 93%



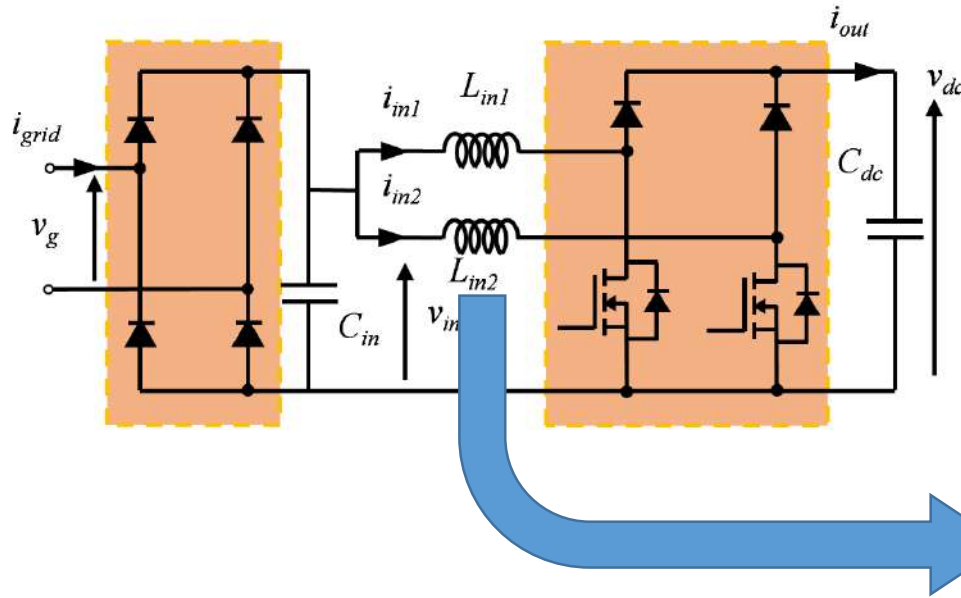
Power Factor Corrector (PFC)
Front-end: Interleaved PFC boost



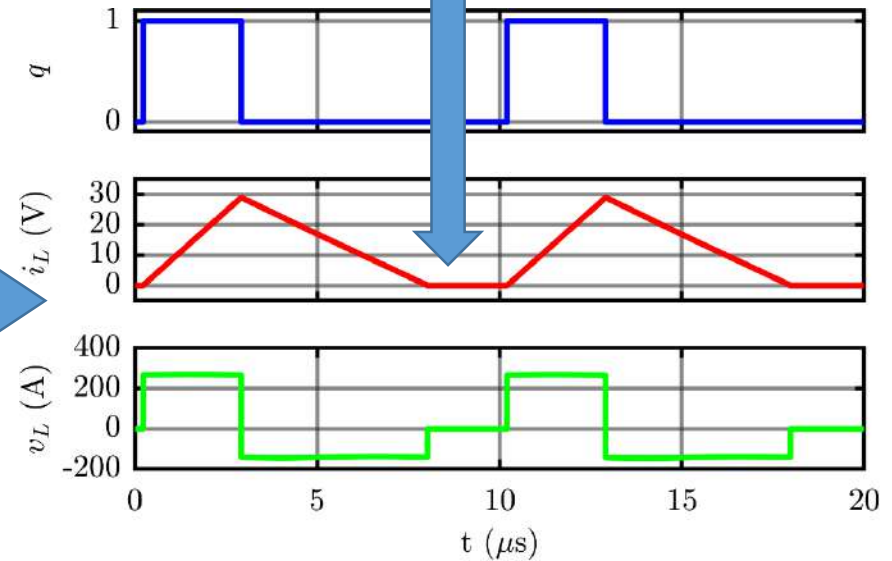
DC/DC isolated converter:
Phase Shift (PS) topology

3.3 kW single-phase on-board charger

AC/DC unit

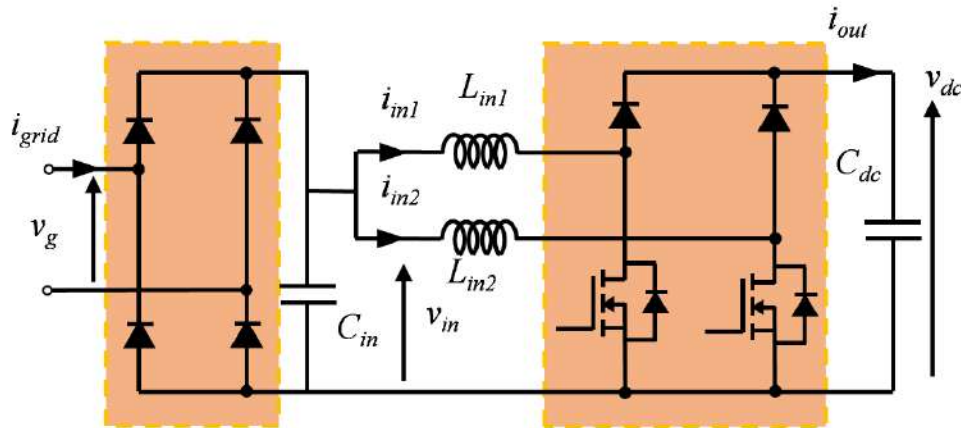


Inductor current drops to 0 every cycle



- Rectifier with diodes having low on-state conduction losses
- PFC boost interleaved topology
- DCM operation \Rightarrow no need for SiC diodes of the boost stage

3.3 kW single-phase on-board charger

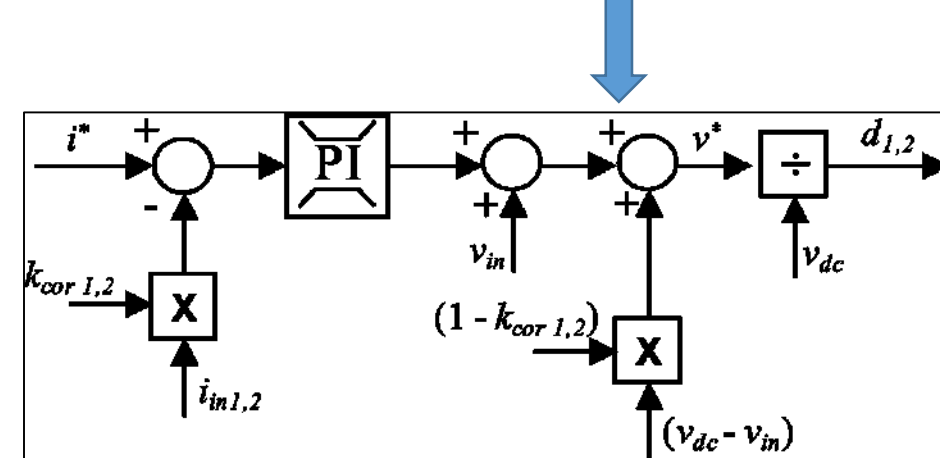
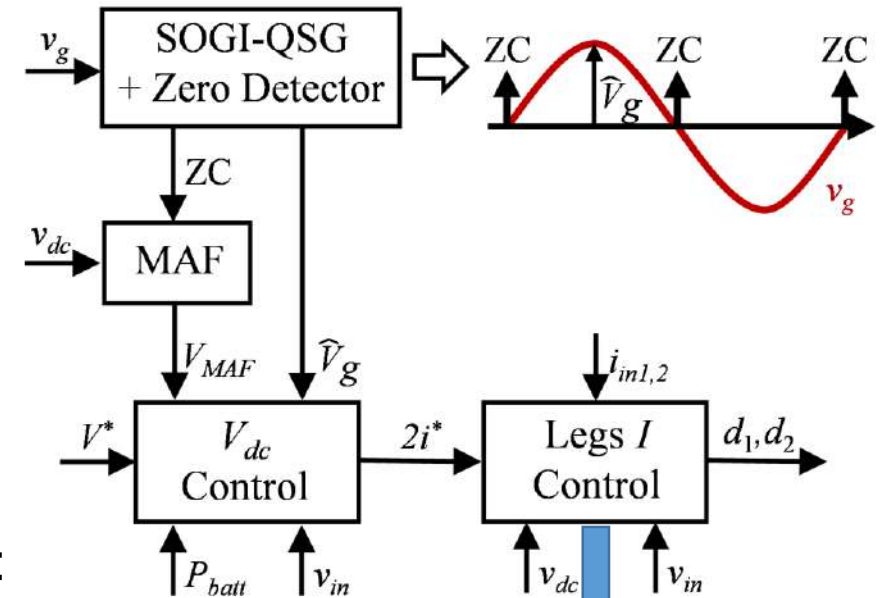


PFC boost control

- Grid synchronization
- Outer loop for DC-link voltage control
- Boost inductors current control with two identical loops
- Special correction of sampled currents

Sampling correction in DCM:
Sampled current \neq average current

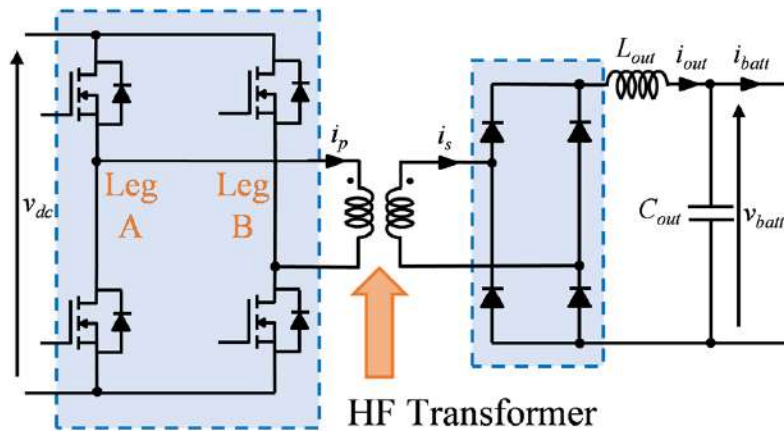
$$k_{cor} = d \frac{v_{dc}}{v_{dc} - v_{in}}$$



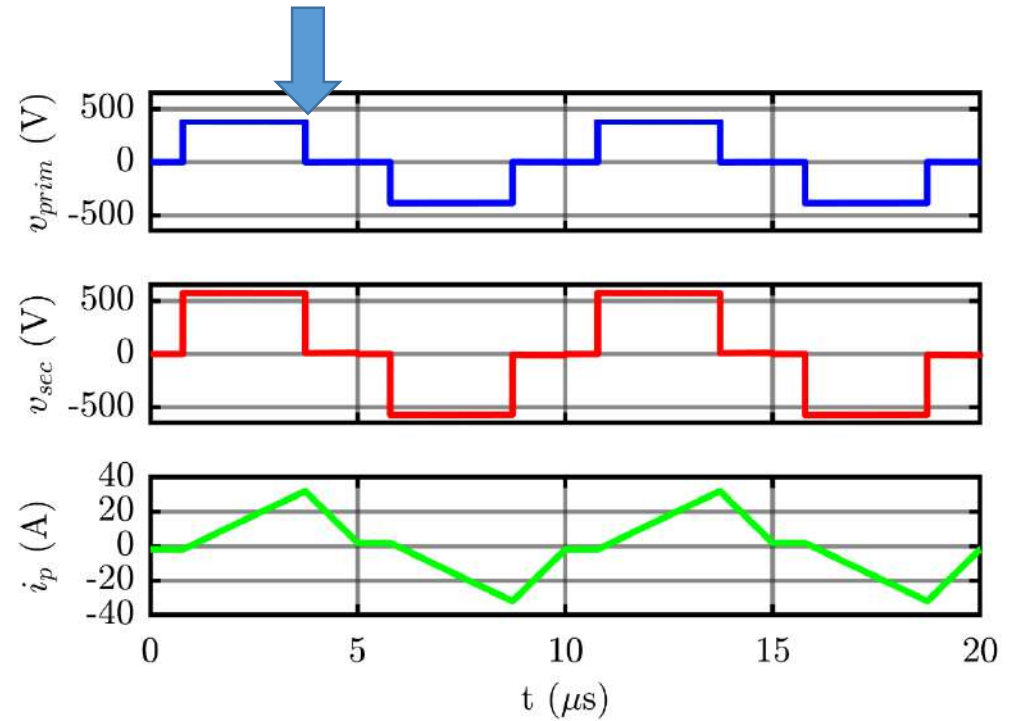
3.3 kW single-phase on-board charger

DC-DC converter

- Phase Shift Control (Leg A&B always at $d=50\%$)



Phase change between Leg A&B \Rightarrow
Voltage regulation at secondary side

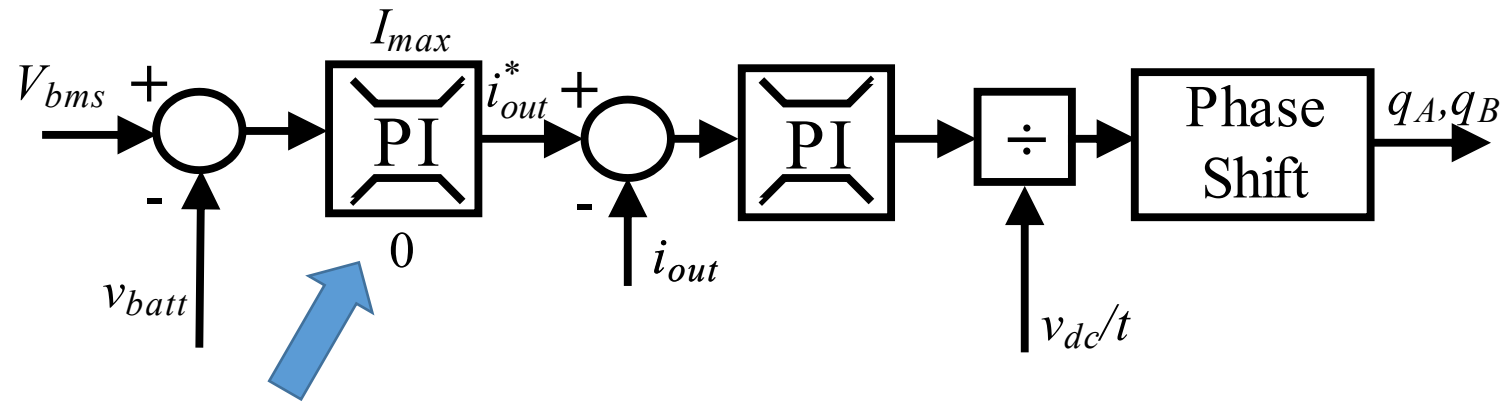


- ZVS on primary side MOSFETs

3.3 kW single-phase on-board charger

DC-DC converter control

- Cascaded battery voltage – current loops
- Reference can be imposed by external Battery Management System (BMS)

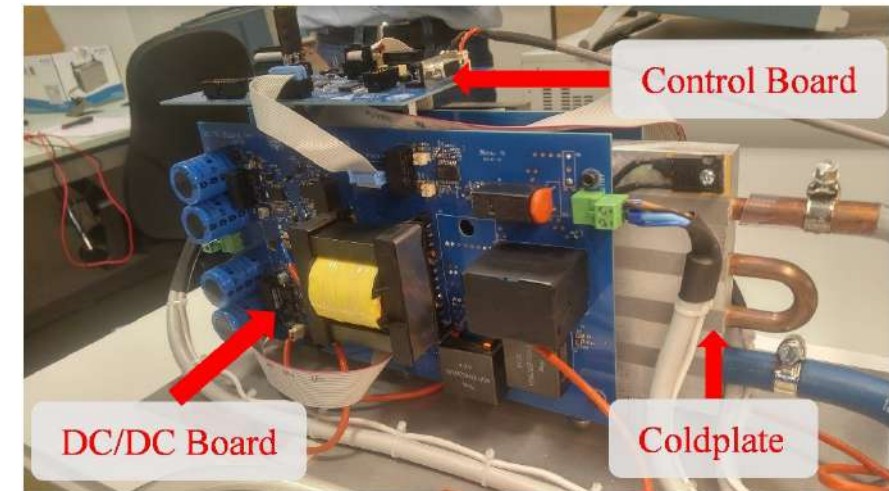
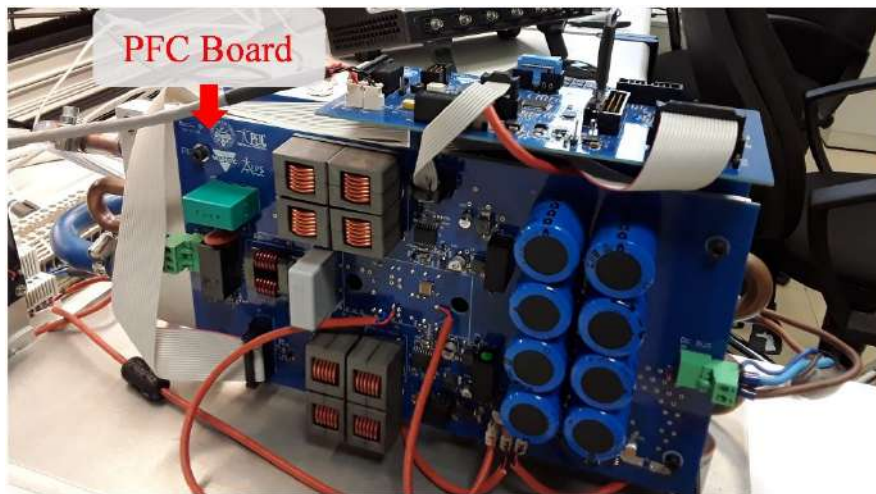


Charging current limitation

3.3 kW single-phase on-board charger

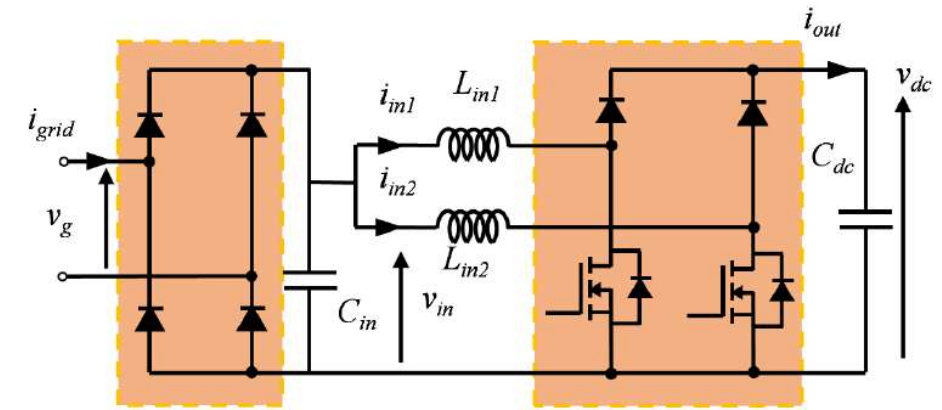
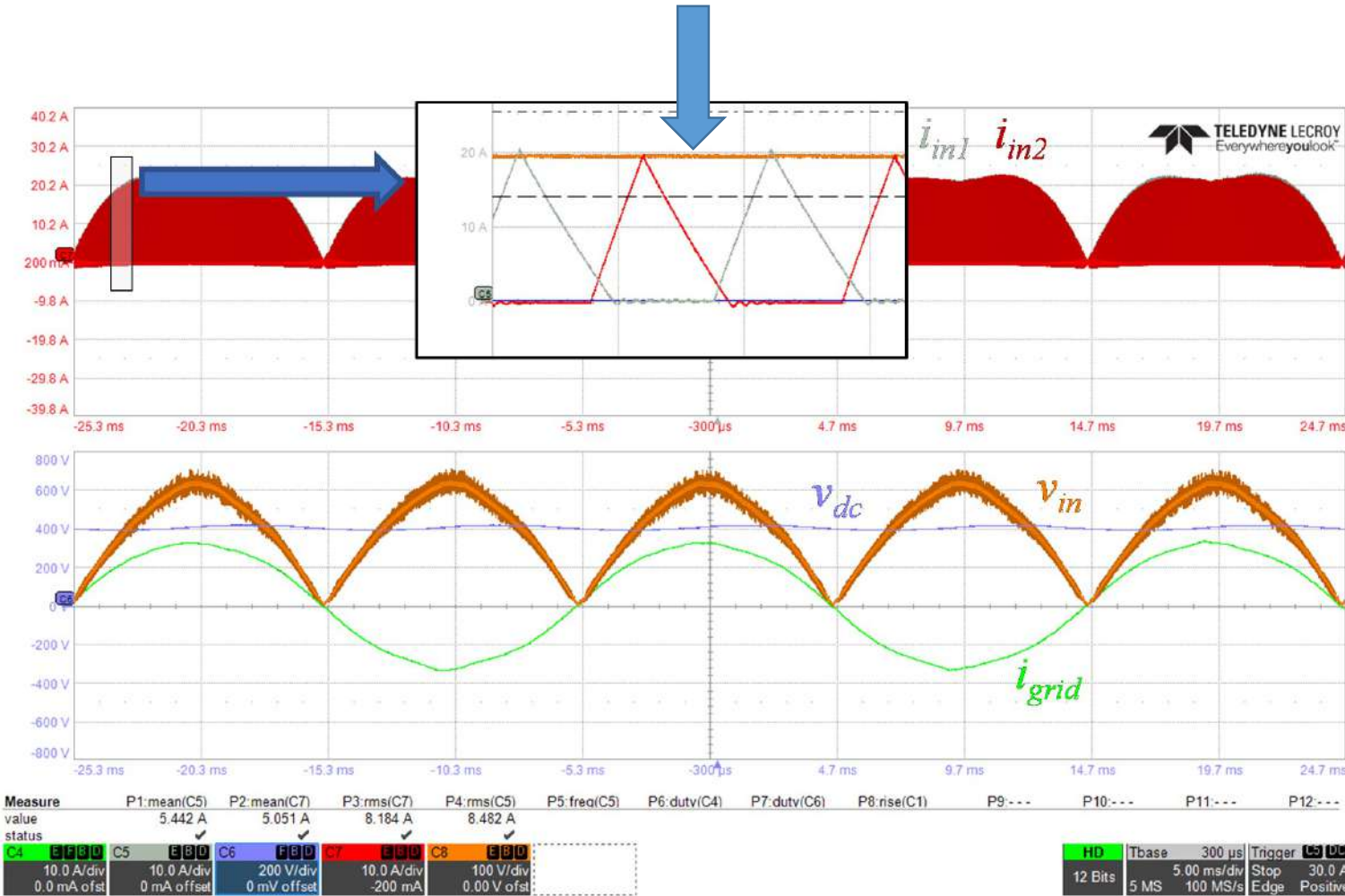
Experimental validation

- Control on STM32F732 MCU
- ISR at 20 kHz
- Bluetooth communication + user interface
- Testing with AC grid emulator and real grid



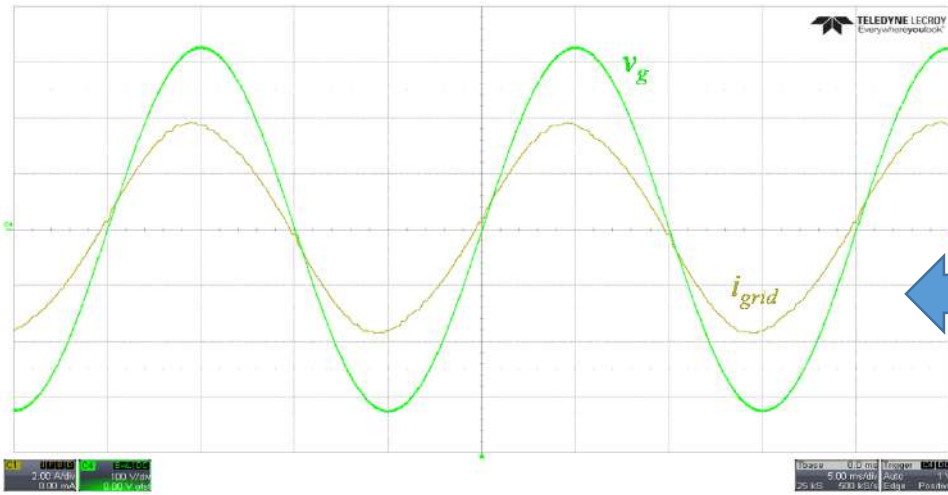
3.3 kW single-phase on-board charger

- Interleaved DCM operation of PFC boost legs

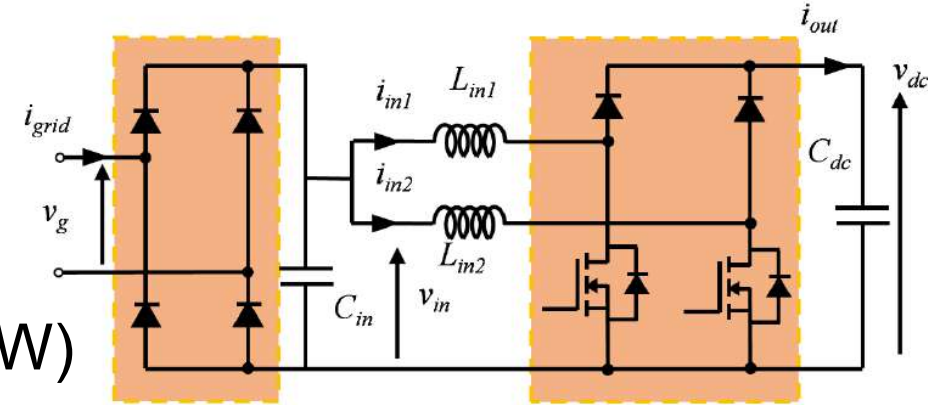


3.3 kW single-phase on-board charger

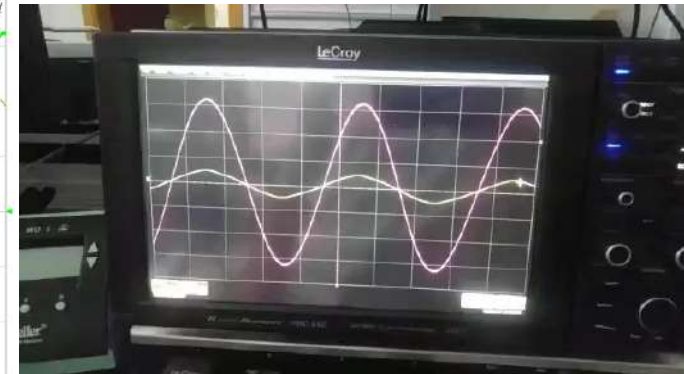
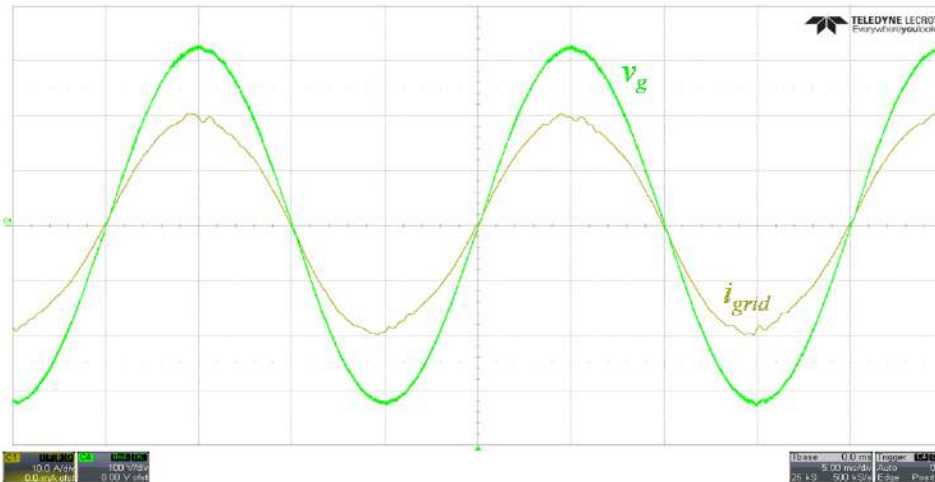
- Sinusoidal input current with low THD for all power range



Low Load (500 W)

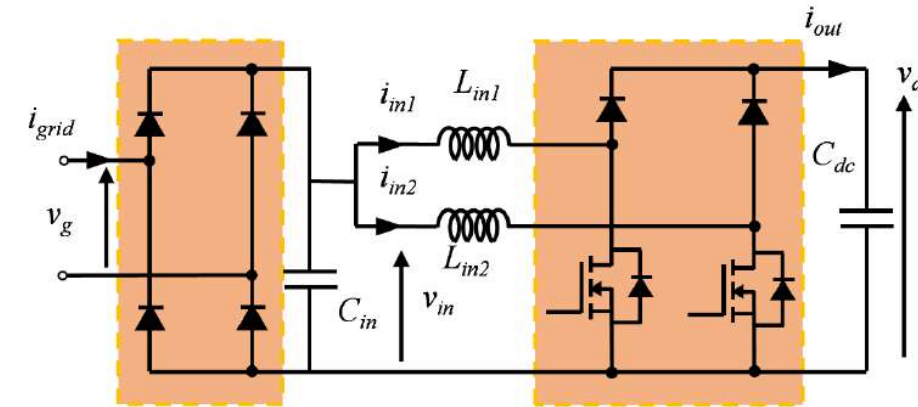
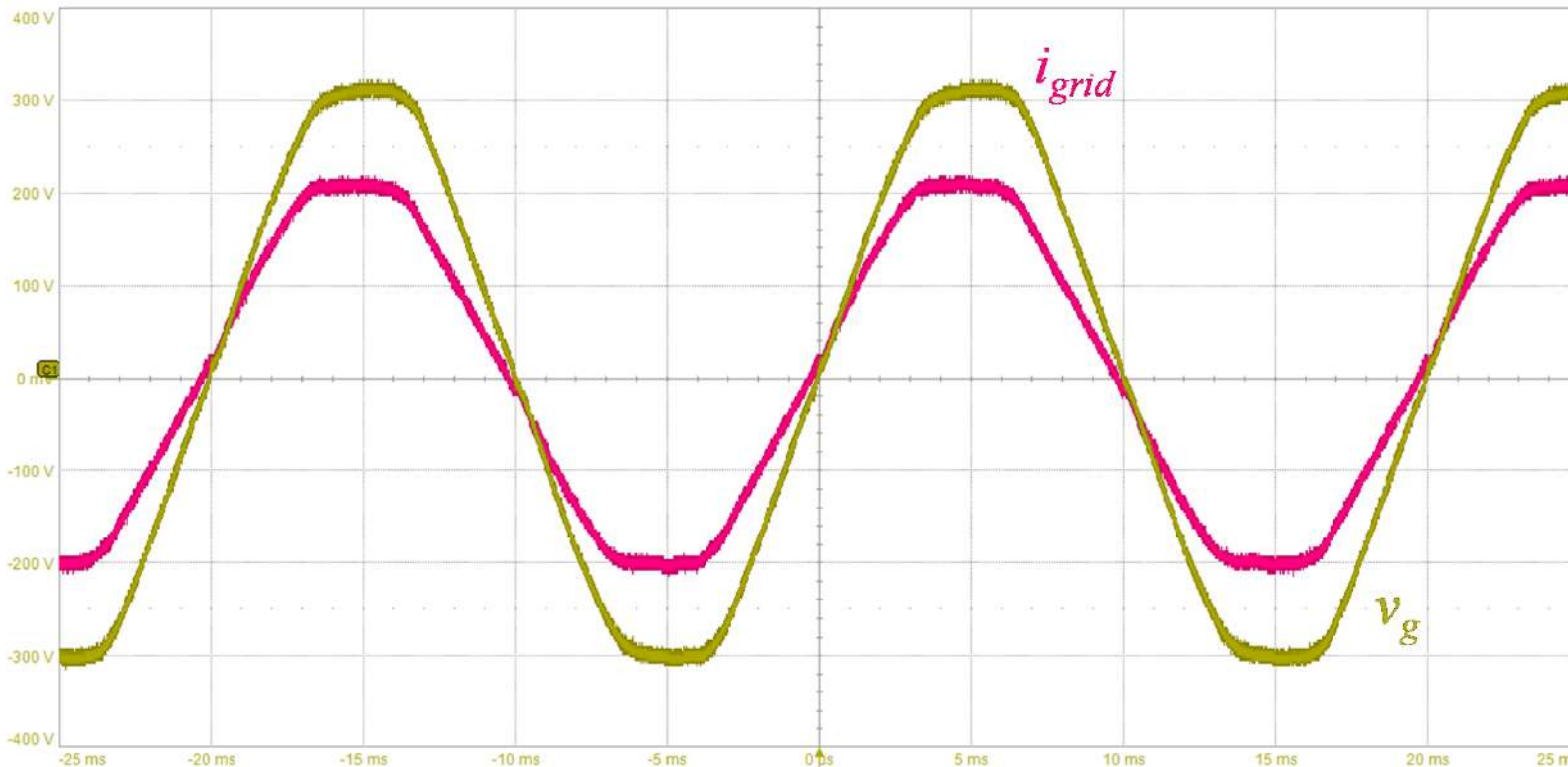


High Load (3200 W)



3.3 kW single-phase on-board charger

- Real grid operation at 700W output power (resistive behavior)

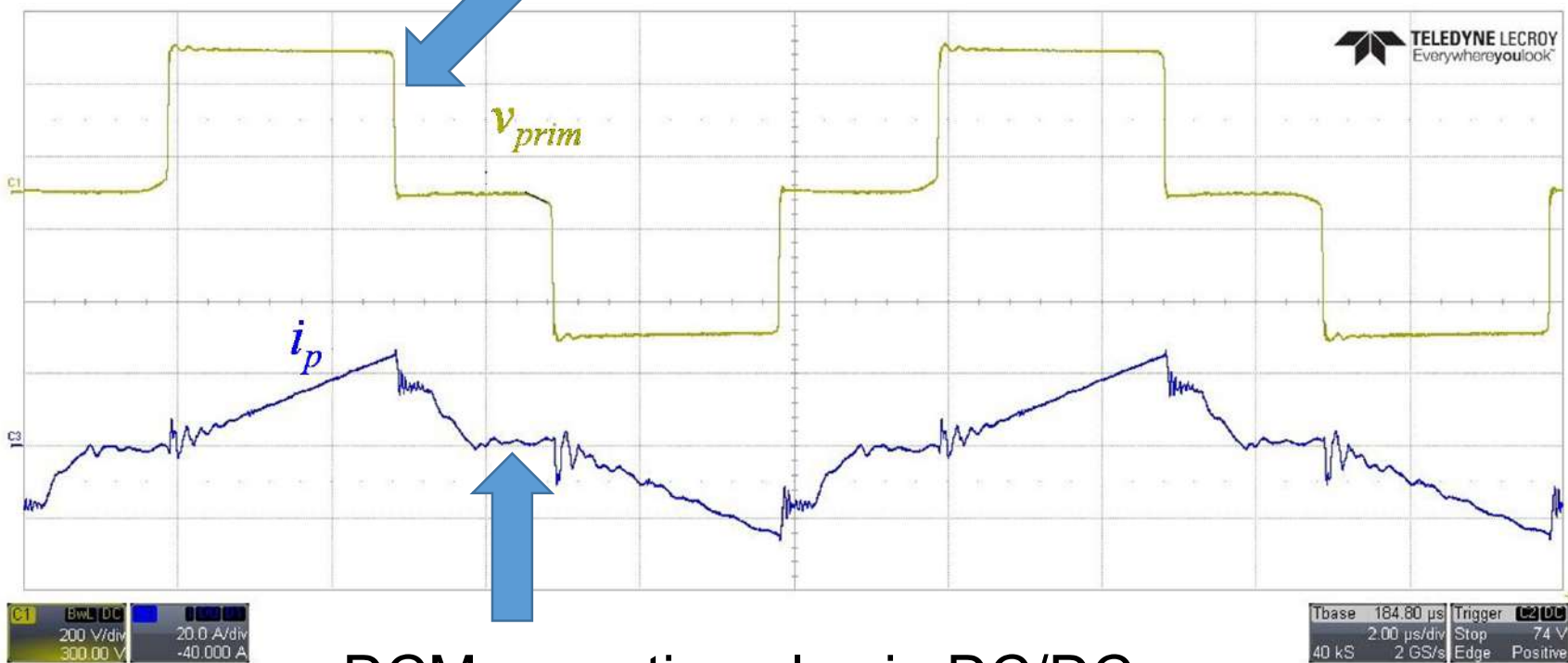


Tbase 0.0 ms Trigger DC
5.00 ms/div Auto 2 V
500 kS 10 MS/s Edge Positive

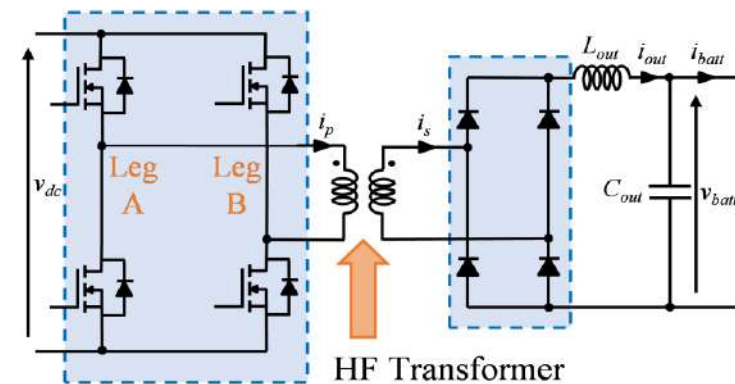
3.3 kW single-phase on-board charger

- DC/DC operation at 3 kW

Transformer primary side voltage



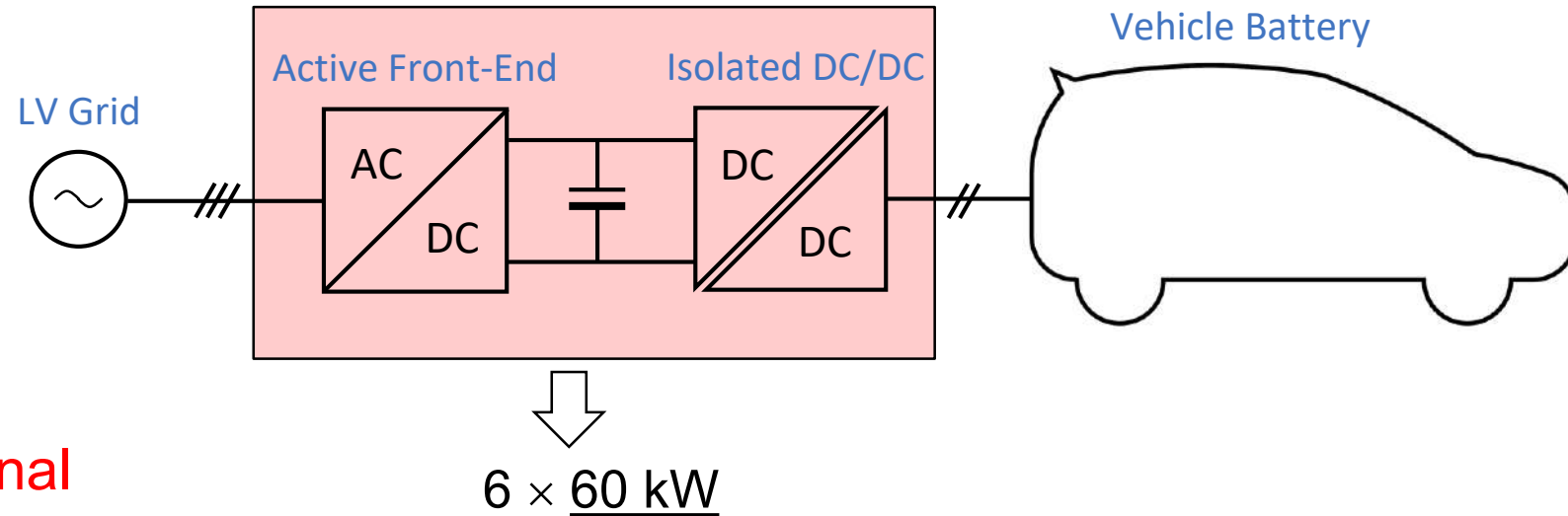
DCM operation also in DC/DC



Modular superfast off-board charger

Specifications (one module)

- Output power 60 kW
- Wide range of output voltage (250V-1000V)
- High efficiency (>96%) at affordable cost using **conventional Silicon components**
- Power quality = unity power factor and very low distortion of input currents
- Electrical insulation between battery and the grid



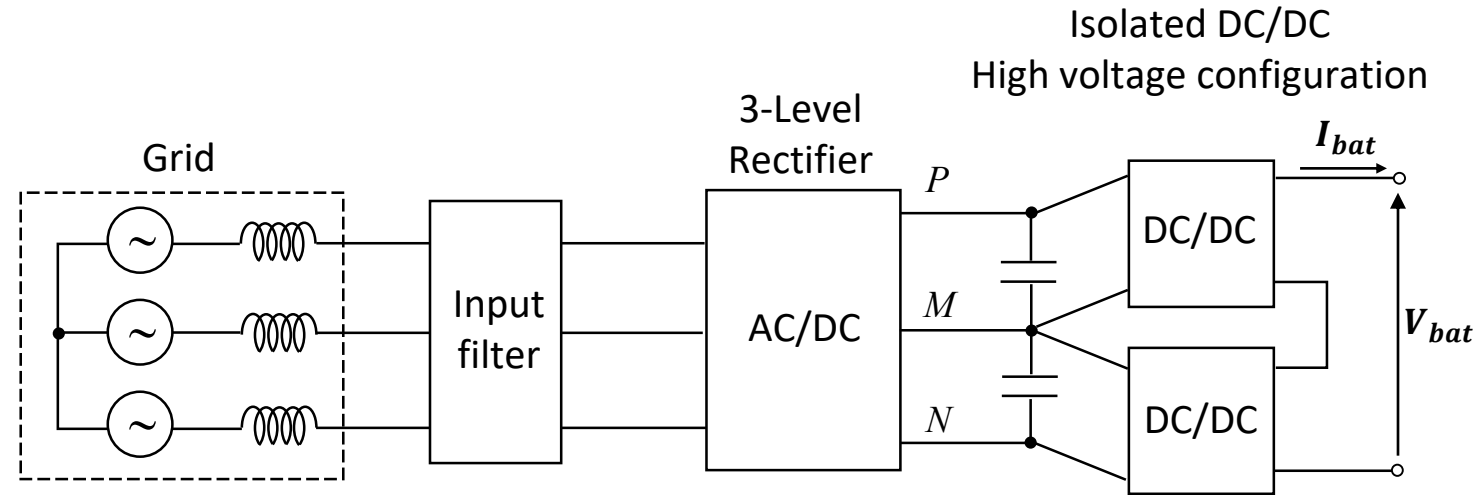
Partner: Vishay Semiconductor Italiana in the framework of Project Sinergy funded by Piedmont Region (2018-2020)



Modular superfast off-board charger

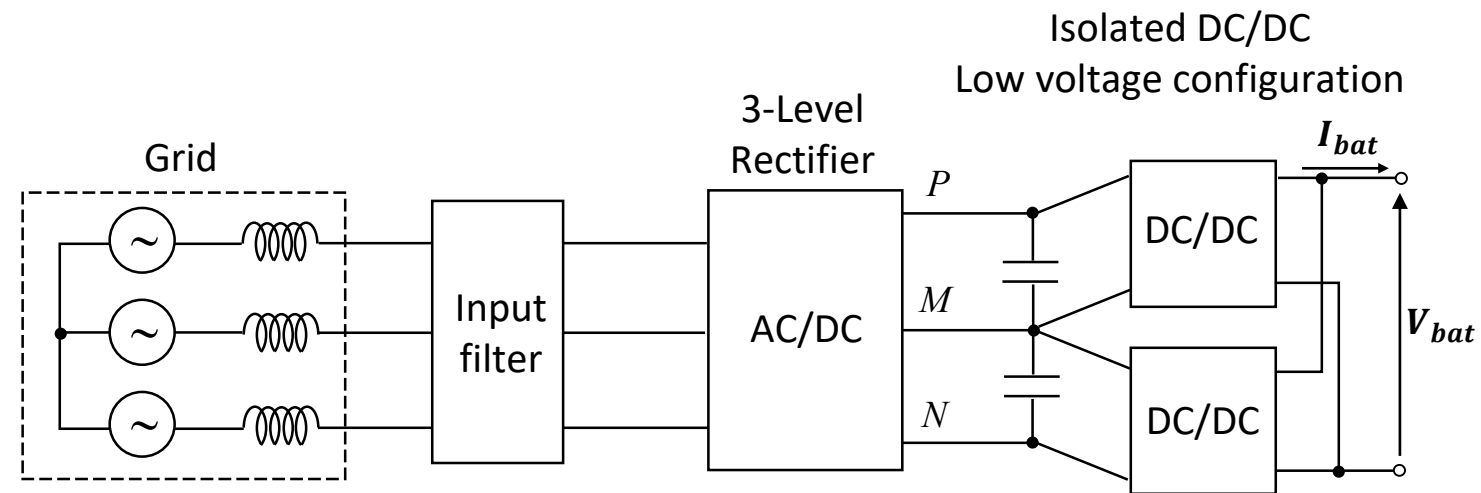
Series configuration

- High voltage range 500-1000V



Parallel output configuration

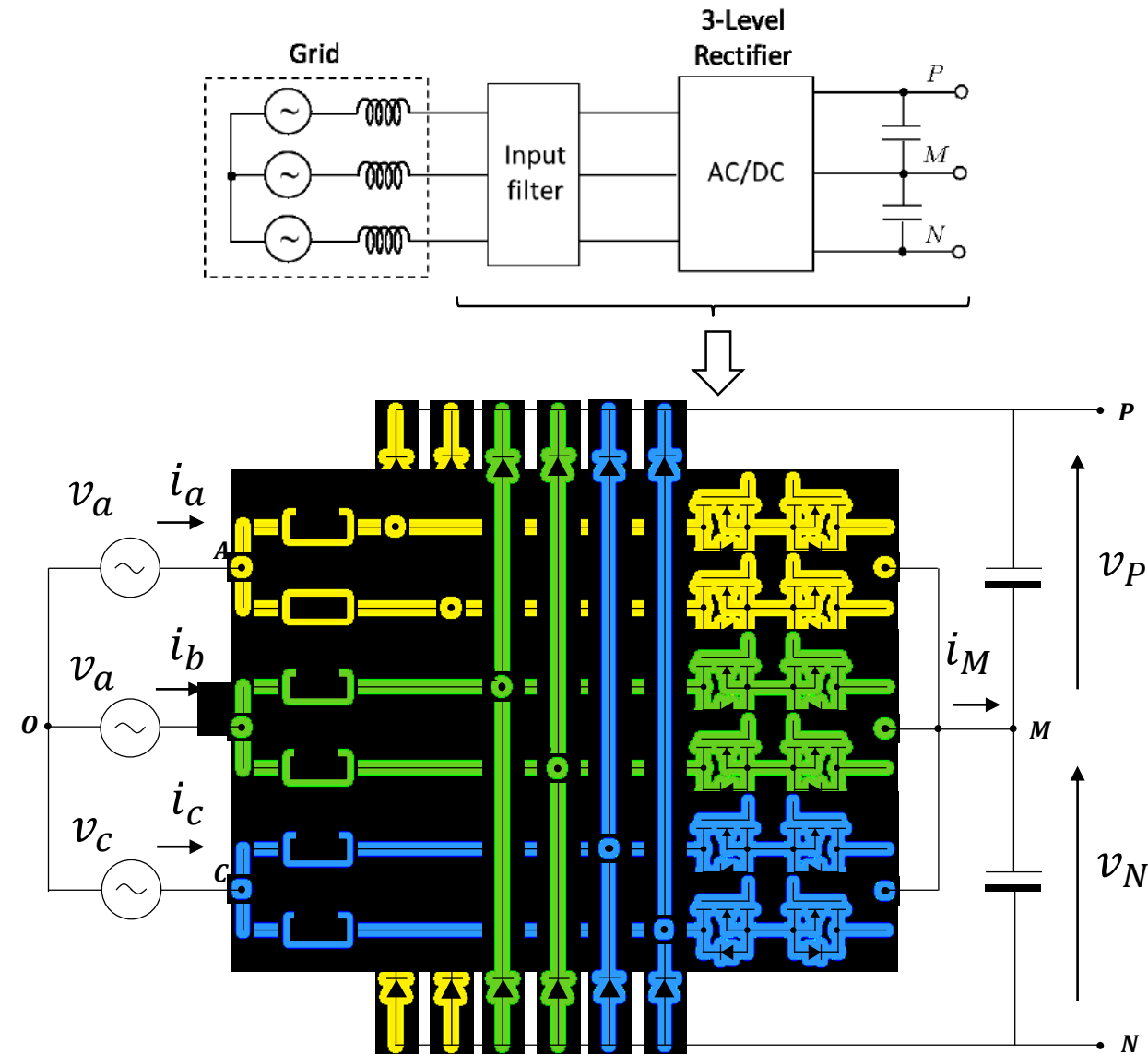
- Low voltage range 250-500V



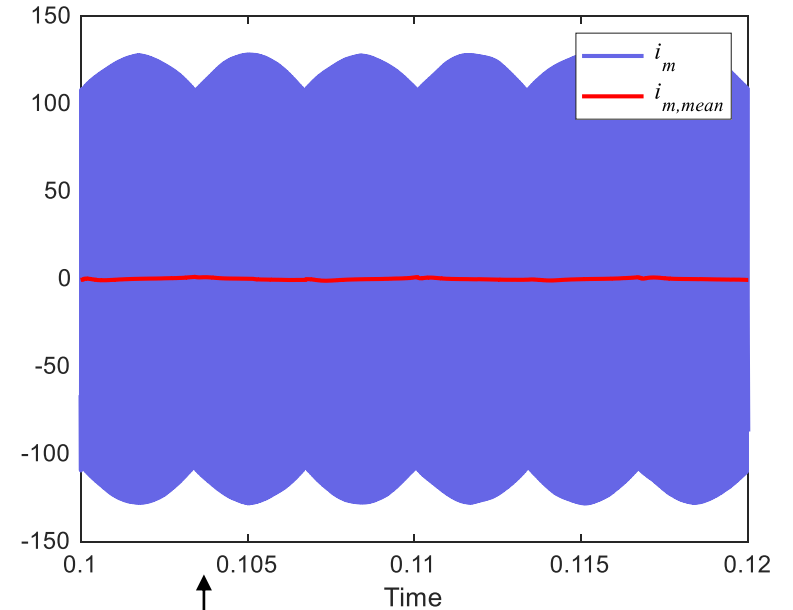
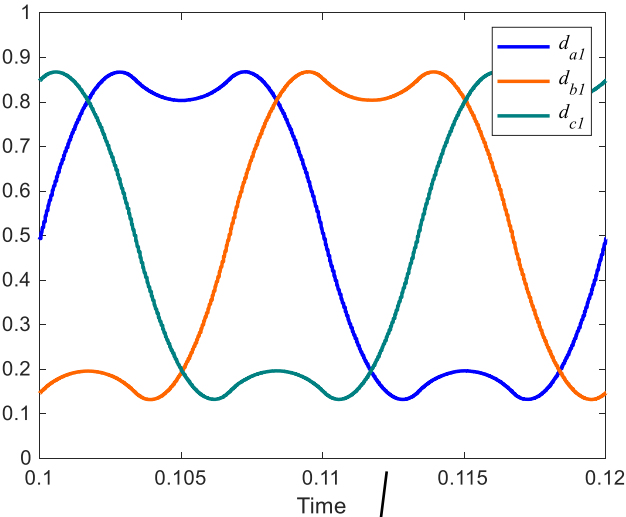
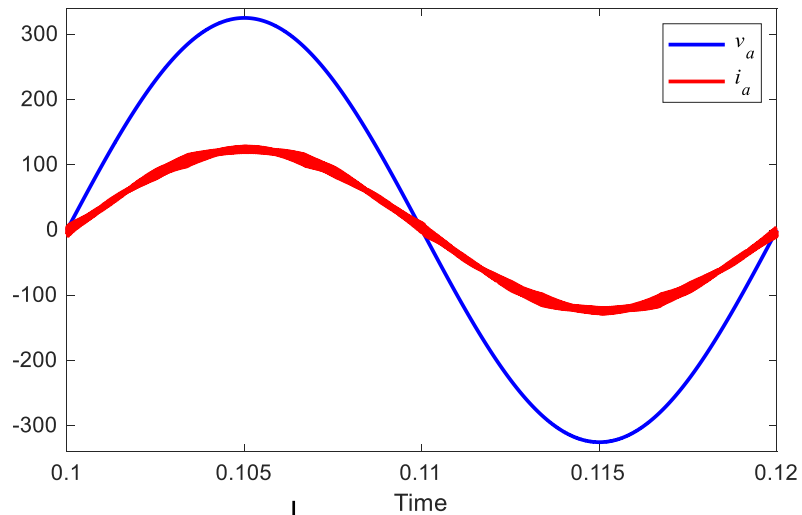
Modular superfast off-board charger – AC/DC

Three-level active rectifier (60 kW)

- Interleaved structure
- 1200V Si Ultrafast diodes
- 650V Si MOSFETs working at 20 kHz
- Digital control
- Salient features:
 - ✓ Voltage control to keep balanced the two DC link voltages
 - ✓ Minimization of the DC link capacitance by using a special modulation technique (ZMPCPWM)
 - ✓ Small inductors



Modular superfast off-board charger – AC/DC



Very low THD (<2%)

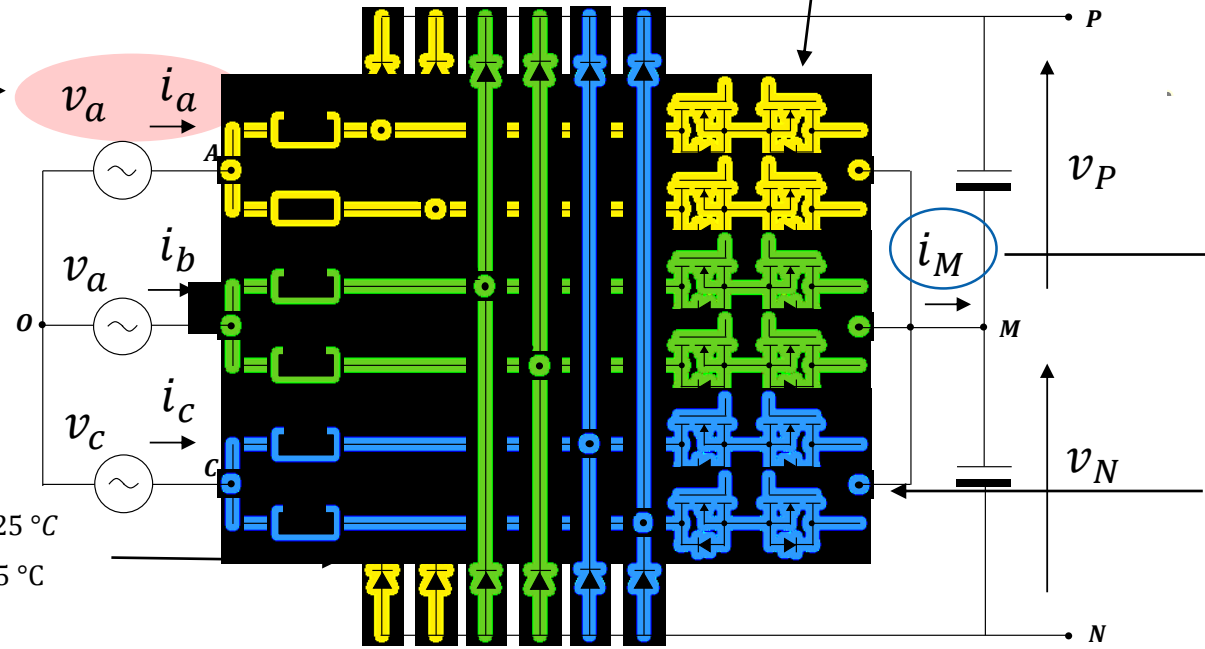
Insensitive to grid voltage distortions

VS-E5PH6012L-N3



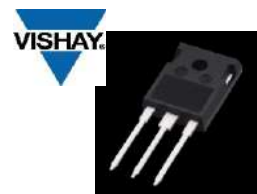
Si Diode:

- $V_R = 1200 \text{ V}$
- $V_F = 1.7 \text{ V @ } 125^\circ\text{C}$
- $I_F = 60 \text{ A @ } 125^\circ\text{C}$
- $t_{rr} = 38 \text{ ns}$



Near zero low frequency midpoint current

SiHG018N60E

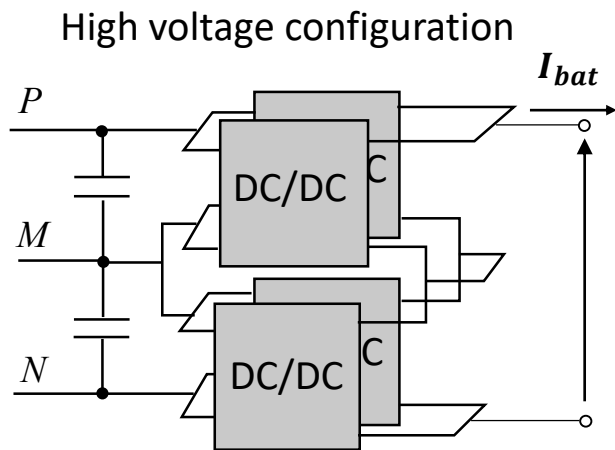
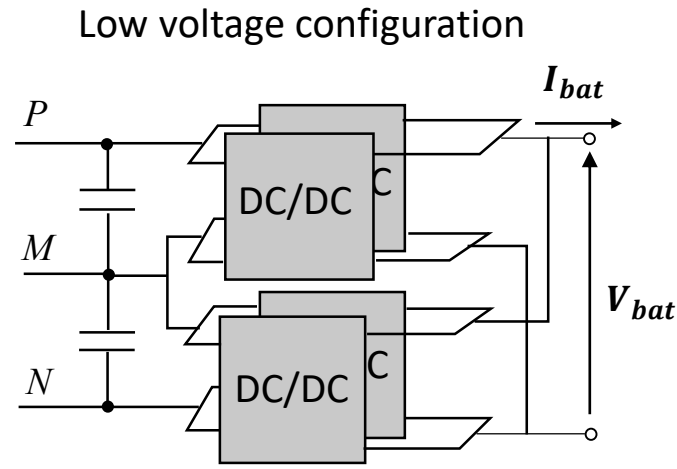


Si MOSFET:

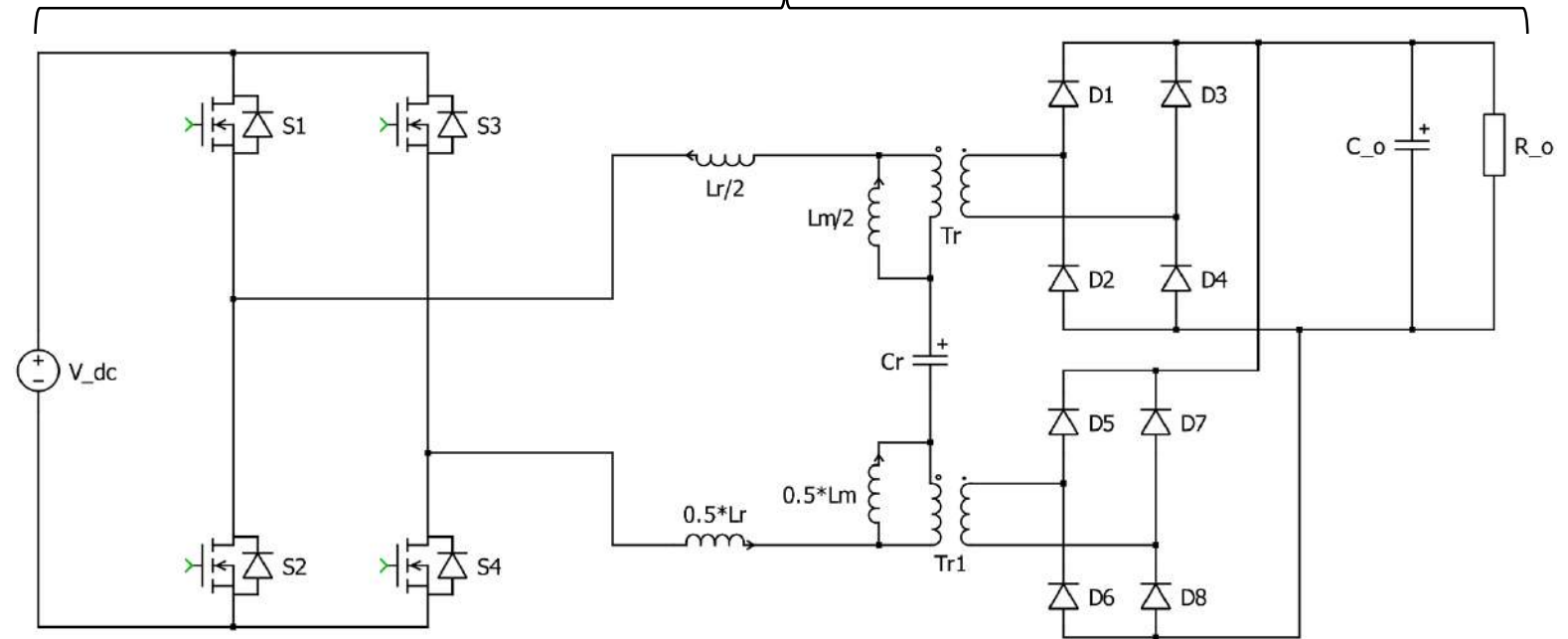
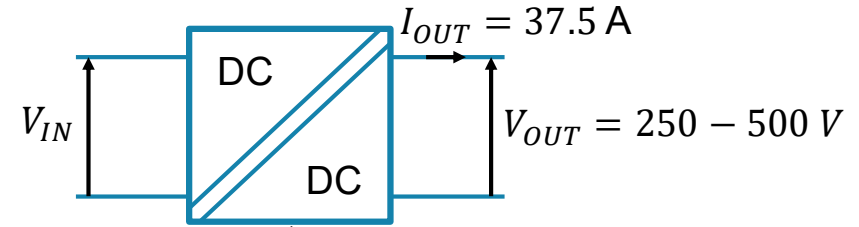
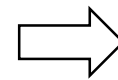
- $V_{DS} = 650 \text{ V}$
- $R_{on} = 21 \text{ m}\Omega \text{ @ } 25^\circ\text{C}$
- $I_D = 99 \text{ A @ } 25^\circ\text{C}$

Modular superfast off-board charger – DC/DC converter

Four 15 kW LLC converters with parallel or series/parallel configuration



15 kW LLC converter as base unit



Two High Frequency (HF) transformers and two diode bridges for each unit

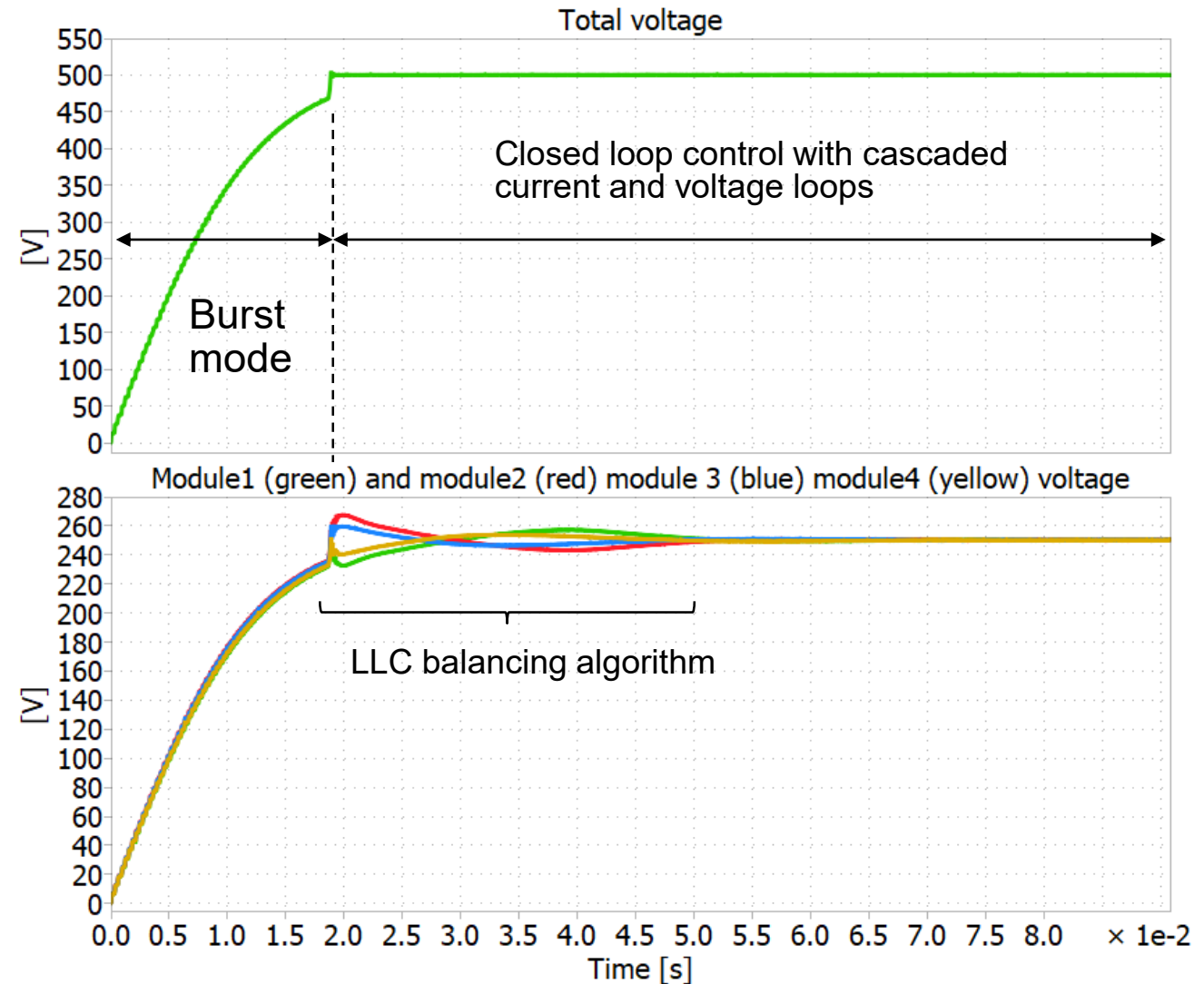
Modular superfast off-board charger – DC/DC converter

Salient features:

- Digital control with DSP with dual loop voltage and current control \Rightarrow better regulation performance
- Operating frequency $100 \div 200 \text{ kHz}$

Critical points:

- Highly non-linear operation solved with accurate modeling
- Balancing operation of all LLC units with additional balancing algorithm
- Start-up solved with burst-mode to avoid start-up overcurrent



Modular superfast off-board charger (TRL4)

The charger development is ongoing

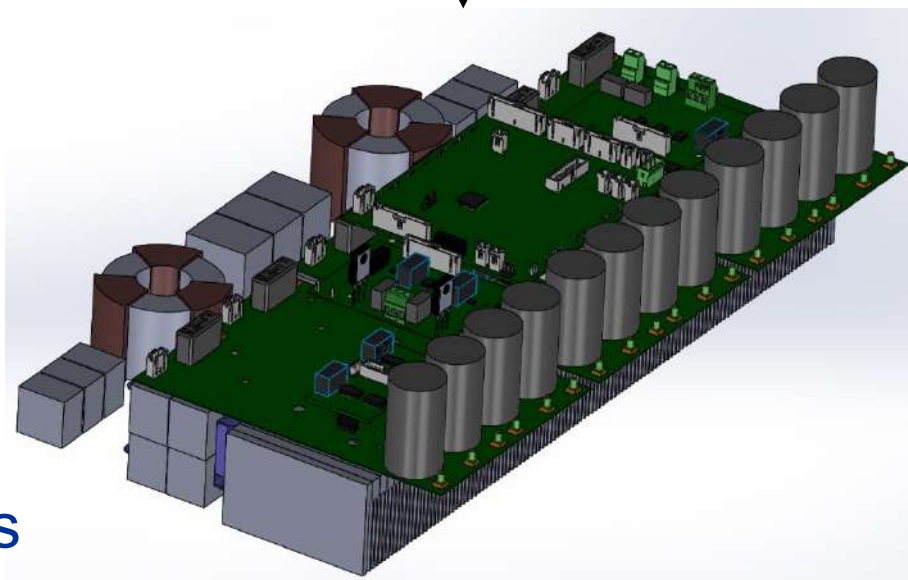
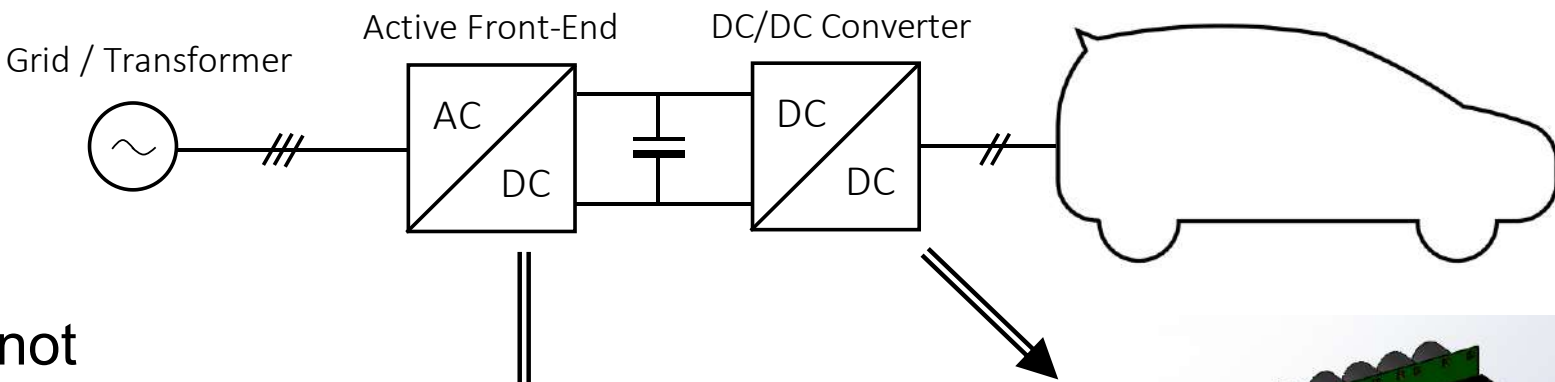
- Estimated size: 50x55x27 cm
- Focus on a TRL4 demonstrator not optimized for a real product
- More optimized design can be done later

Development PEIC team:

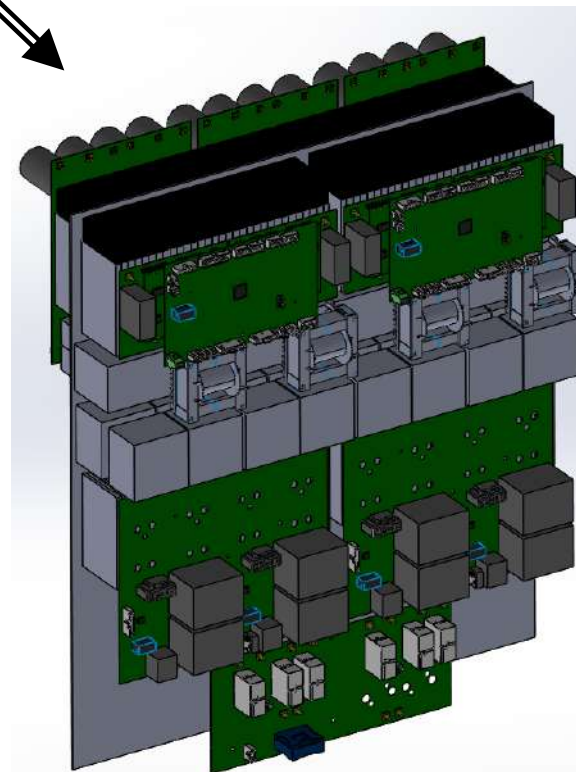
- D. Cittanti, S. Borlo, F. Mandrile, E. Vico, R. Bojoi

Tight cooperation with Vishay Alps Laboratory team:

- A. Gillone, D. Daprà, C. Damilano



Three-level interleaved T-type rectifier



4 × LLC DC-DC converters

No on-board chargers:

- All external chargers will be DC/DC
- Use the actual DC distributions (i.e tramway) or create new one
- Wall Boxes for private use can be AC/DC/DC solutions (what actually is inside the EV)

Concentrate the charging points in a **charging HUB**

- It is a service with a quite large amount of power and energy to manage
- Energy can be for free (in low power mode) for supermarket or airport parking
- Vehicle-to-Grid (V2G) can be realistically used, but the bidirectional solutions are more expensive and less optimized for efficiency

Charge while driving using wireless solution (arrive at destination charged! ... reduced storage needs)

Technical challenges

- **Invisible battery charging** points in urban areas
 - **Small DC-DC battery charger** embedded in the charger plug fed from DC grid (tramway)
- ⇒
- Need for very high power density achievable only with Wide Bandgap (WBG) devices (SiC)**
- **DC distribution in future smart buildings** integrating PVs and multiple chargers with V2G capabilities
 - Charging HUBs with front-end power electronics acting as **Virtual Synchronous Compensator (SVC)** emulating inertia and providing ancillary services (reactive power support during faults, harmonic compensation, etc)



POLITECNICO
DI TORINO

INVITANO AL
WORKSHOP

LACE
Laboratorio Compatibilità Elettromagnetica



EMC
TORINO
27.11.2019
Politecnico di Torino

Day

EMC Day – Politecnico di Torino

27 Novembre 2019

Giancarlo Borio

giancarlo.borio@imq.it

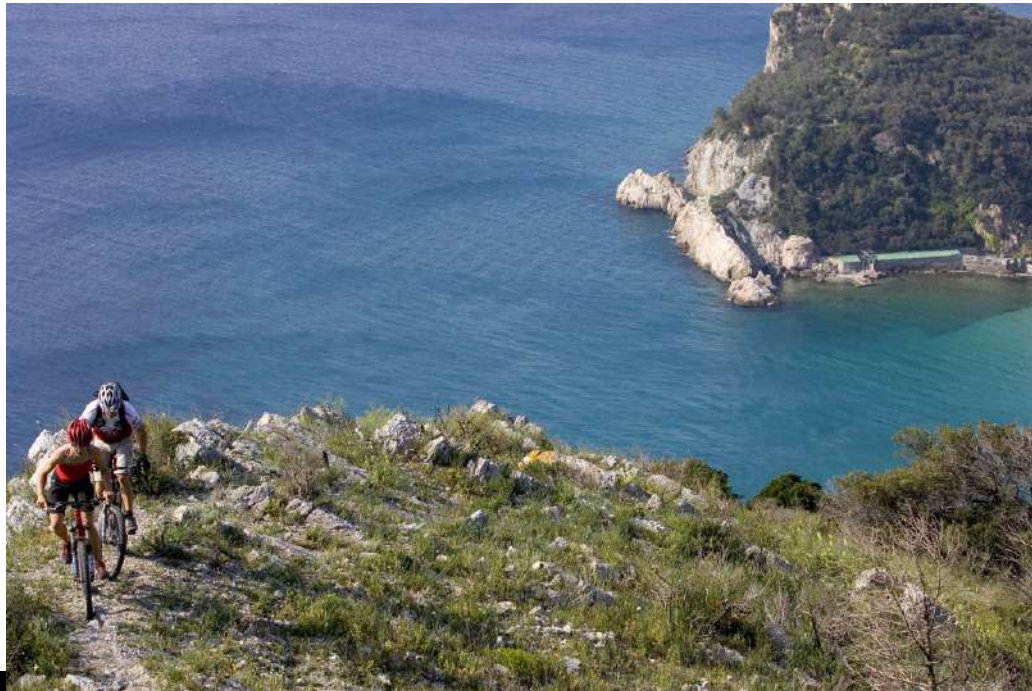
SOCIETÀ DEL GRUPPO IMQ

together toward excellence

Evoluzione di un Laboratorio

Oggi vorremmo presentarVi la nostra

IDEA di LABORATORIO



Laboratorio 4.0 ?!?

La tendenza oggi è quella di migliorare sempre: produrre meglio, più velocemente e a costi minori.

Laboratorio 4.0 ?!?

La tendenza oggi è quella di migliorare sempre: produrre meglio, più velocemente e a costi minori.

Ma cosa significa?

Definizione Industria 4.0

- Significa che sfruttando i **miglioramenti tecnologici** i processi legati all'industria saranno dotati di una interconnessione veloce, chiara e diretta tra tutti gli asset aziendali. La produttività aumenta, gli sprechi diminuiscono.
- Il vantaggio primario del paradigma Industria 4.0 è sicuramente la **disponibilità di tutte le informazioni pertinenti in tempo reale.**

4.0 = Interscambio di Informazioni

I benefici sono:

- Maggiore flessibilità attraverso la produzione di piccoli lotti ai costi della grande scala
- Maggiore velocità dal prototipo alla produzione in serie attraverso tecnologie innovative
- Maggiore produttività attraverso minori tempi di set-up, riduzione errori e fermi macchina
- Migliore qualità e minori scarti mediante sensori che monitorano la produzione in tempo reale
- Maggiore competitività del prodotto grazie a maggiori funzionalità derivanti dall'Internet delle cose

E un Laboratorio cosa può fare?

A un Laboratorio si chiede in genere di

- Assicurare la Qualità delle misure che fa (Accreditamento)
- Il Laboratorio deve fornire dei Risultati (PASS/FAIL)

.... Ma vi basta questo?

Evoluzione nel mondo 4.0

- Formazione/Interscambio col Cliente su nuove problematiche legate a Norme o nuove richieste (HV, nuovi componenti elettronici da usare, richieste di nuove prove..)
- Analisi delle richieste e risposte congruenti su cosa il Laboratorio può fare.
- Ricerca delle cause e delle eventuali soluzioni per risolvere i problemi che emergono durante le prove.

Punti di forza

- Accreditamento
- Investimenti adeguati
- Interscambio di Informazioni ed alta formazione dei nostri tecnici

Accreditamento

- Mantenere naturalmente alto il Livello del lavoro e delle conoscenze;
- Mantenere le prove offerte al passo con le Norme che sono in continua evoluzione;
- Eseguire confronti Interlaboratori per assicurare la bontà delle misure;
- Partecipazione attiva ai Comitati Normativi Nazionali ed Internazionali.

Investimenti adeguati

- Per mantenere il passo con le richieste che di continuo i Clienti /Norme o Capitolati ci chiedono:
 - Emissioni condotte/radiate HV Automotive
 - Impulsi e prove Elettriche LV 124, LV 148, LV 123;
 - Prove Elettriche HV
 - Nuovi capitolati costruttori (Impulsi Ford/PSA)

Risultati degli Investimenti

- N. 2 Camere Anecoiche analoghe Industriali/Automotive;
- N. 2 Banchi BCI completi di cui 1 fino a 1GHz;
- N. 2 banchi Impulsi LV Automotive di cui fino a 200 A;
- Stripline
- Campi Magnetici
- Ecc.

n. 2 Camere Anecoiche



Risultati degli Investimenti

- N. 2 Camere Anecoiche analoghe Industriali/Automotive;
- N. 2 Banchi BCI completi di cui 1 fino a 1GHz;
- N. 2 banchi Impulsi LV Automotive di cui fino a 200 A;
- Stripline
- Campi Magnetici
- Ecc.

Banchi BCI



Risultati degli Investimenti

- N. 2 Camere Anecoiche analoghe Industriali/Automotive;
- N. 2 Banchi BCI completi di cui 1 fino a 1GHz;
- N. 2 banchi Impulsi LV Automotive di cui fino a 200 A;
- Stripline
- Campi Magnetici
- Ecc.

Banco ISO 200A



Interscambio Informazioni

- Quando un Cliente ci chiede il motivo per cui si esegue una prova o come questa viene fatta è nostro dovere rispondere sempre e dare spiegazioni;
- Interscambio continuo col Cliente dei dati, risultati e tempistiche per poter sempre intervenire rapidamente in caso di problemi.
- Per questo il LACE si stà organizzando al meglio per avere risposte ancora più rapide.

Risultati

- Risposta media alle richieste 3 giorni;
- Rispondiamo anche solo per dire che non siamo in grado di soddisfare le richieste;
- Stiamo lavorando per soddisfare le urgenze e per ridurre i tempi di attesa delle misure.

Principi ...

- Cerchiamo di condividere e risolvere i problemi dei nostri Clienti;
- Questo è il motivo per cui continuiamo a riproporre questo Incontro e a collaborare col Politecnico;
- Per contribuire ad uno scambio di conoscenze utile a tutti!

Principi...

- La nostra idea è che si debbano sfruttare le conoscenze pregresse e che non si debba sempre re-iniziare da capo, magari migliorandone l'approccio ed evitando ove possibile gli sbagli di chi ci ha preceduto;
- Molte volte quello che ci accingiamo a fare è un sentiero nuovo per noi ma non per altri!

Speriamo che il nuovo Laboratorio



Sia di vostro gradimento!

GRAZIE

Ai miei collaboratori

A voi tutti per l'attenzione



FINE



POLITECNICO
DI TORINO

INVITANO AL
WORKSHOP

LACE
Laboratorio Compatibilità Elettromagnetica



EMC
TORINO
27.11.2019
Politecnico di Torino

Day

EMC Day – Politecnico di Torino

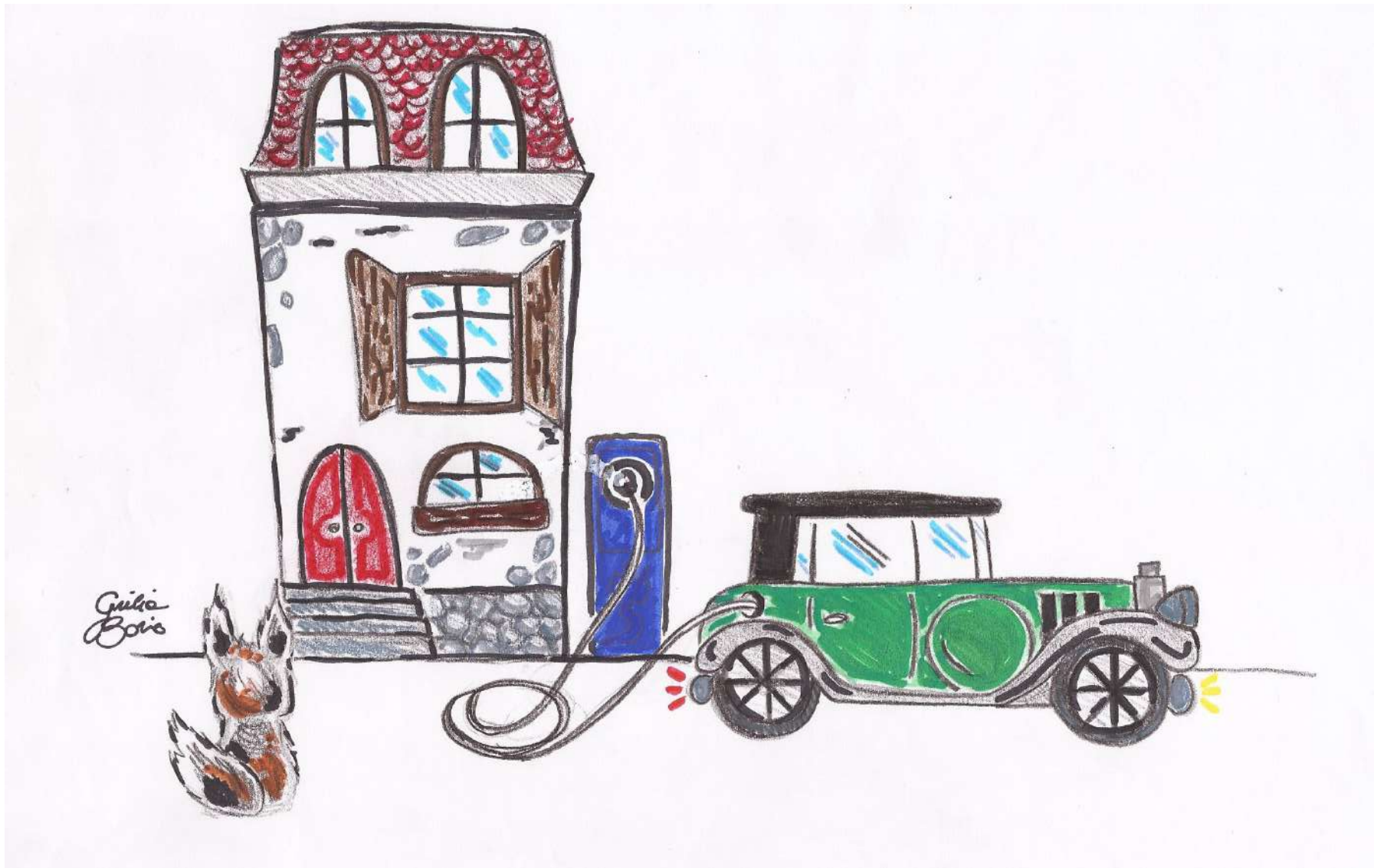
27 Novembre 2019

Giancarlo Borio

giancarlo.borio@imq.it

SOCIETÀ DEL GRUPPO IMQ

together toward excellence

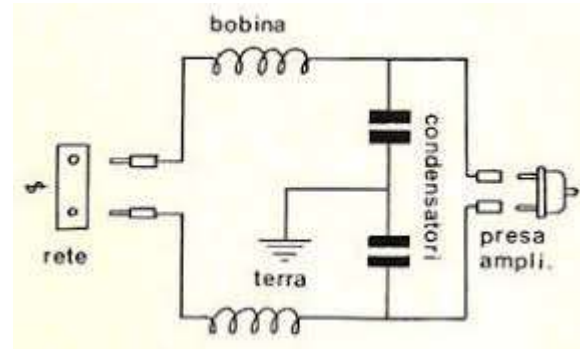


Indice

- Tipologia di Filtri
- Filtro del 1° Ordine Condensatore o Induttanza
- Analisi critica del Condensatore
- Analisi critica dell'Induttanza
- Comportamento dei Filtri
- Conclusioni

Filtri

- Figure di filtri...

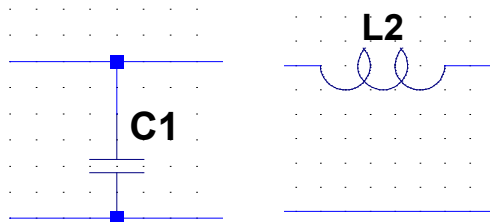


Vediamo alcuni esempi...

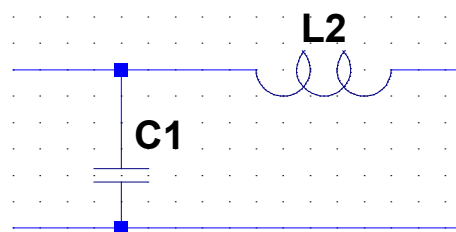
- Che tipo di filtri adottare...
- Ci dobbiamo rifare a cosa si e' imparato a «Teoria delle Reti» ed alla Bibliografia: RF Circuit Design.
- Tranquilli... pochi concetti e uso delle simulazioni che «semplificano» molto la vita.

Diverse Tipologie di filtri...

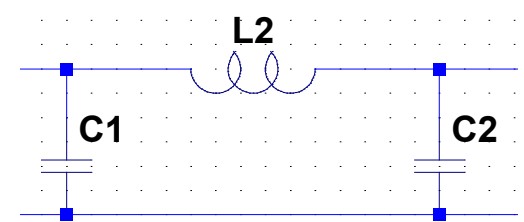
Semplice C o L
20 dB/dec



Doppia Cella L-C
40 dB/dec



Tripla Cella C-L-C
60 dB/dec



Filtri EMC

- Oggi vedremo il ragionamento da seguire per la loro scelta.
- Quindi ci mettiamo il cappello da progettista e vediamo come venirne fuori...

Facciamoci delle domande...

- Che LIMITI devo soddisfare: sia Emissioni che Immunità?
- Di che tipo è il mio segnale di DISTURBO (Emissioni o Immunità)?
- Di che tipo di filtro avrò bisogno?

Facciamoci delle domande...

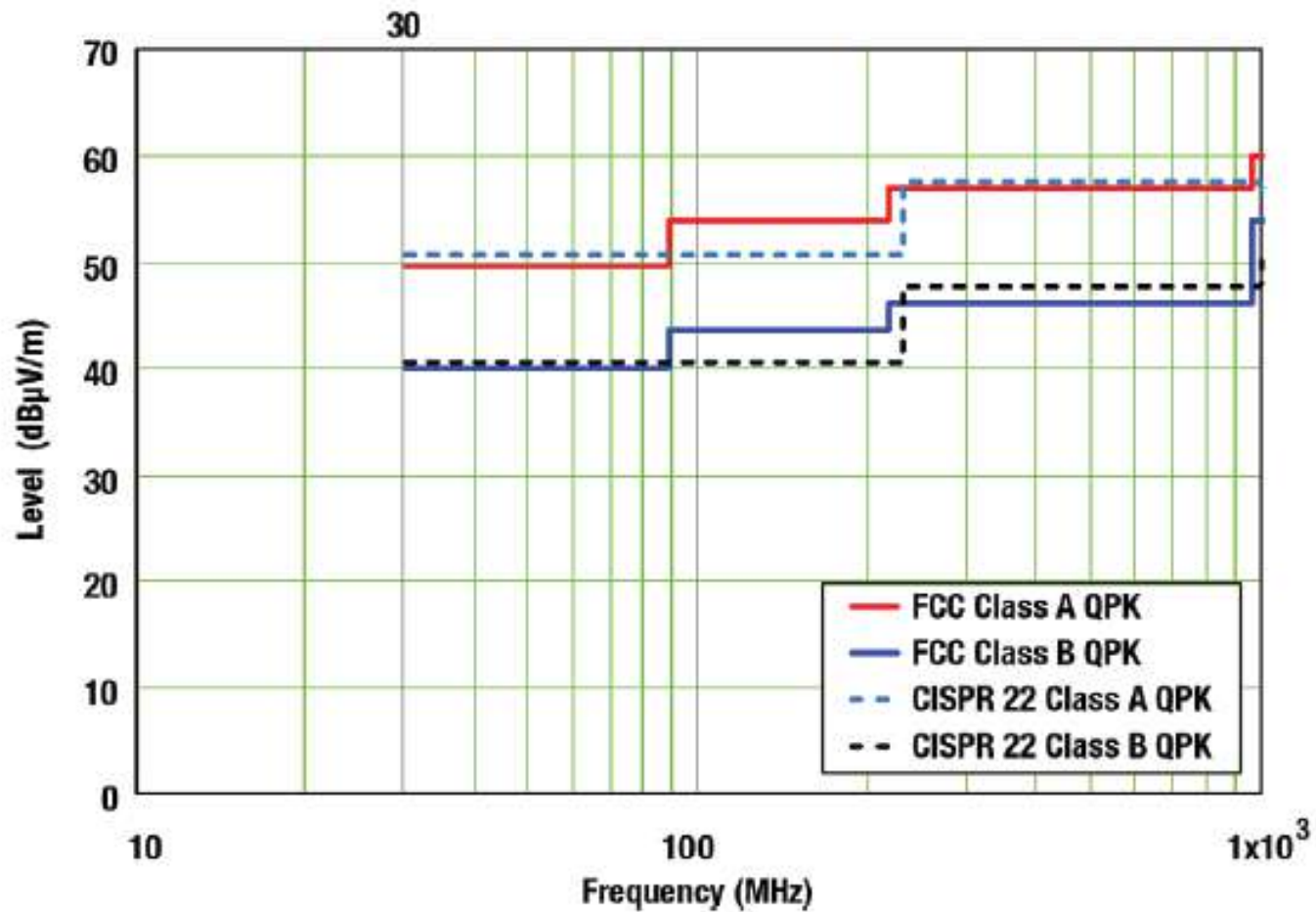
- Che LIMITI devo soddisfare: sia Emissioni che Immunità?
- Di che tipo è il mio segnale di DISTURBO (Emissioni o Immunità)?
- Di che tipo di filtro avrò bisogno?

E diamoci delle risposte:

Limiti

- Dipendono dal MONDO in cui siamo:
 - **Civile/Industriale** per le Emissioni abbiamo limiti che in genere crescono con la frequenza nelle Emissioni irradiate o scendono per poi risalire nelle emissioni condotte (possono aiutarci).
 - **Automotive** in genere scendono sempre all'aumentare della frequenza (brutto segno).

Limiti Non Automotive (Esempio)



Limiti Automotive (esempio)

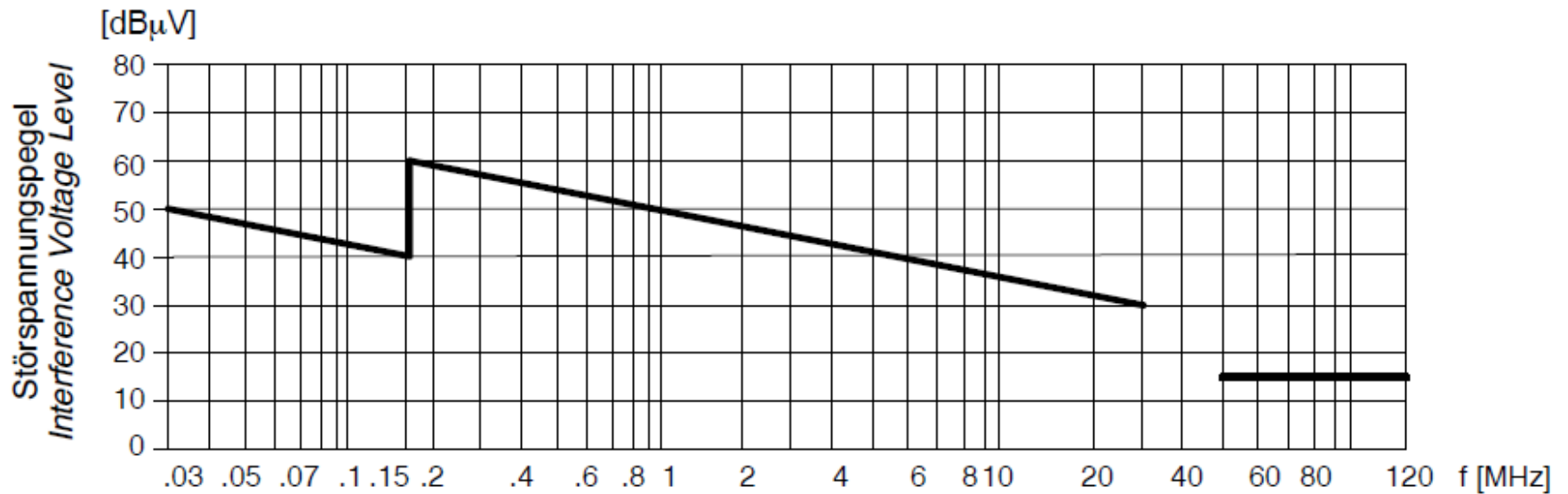
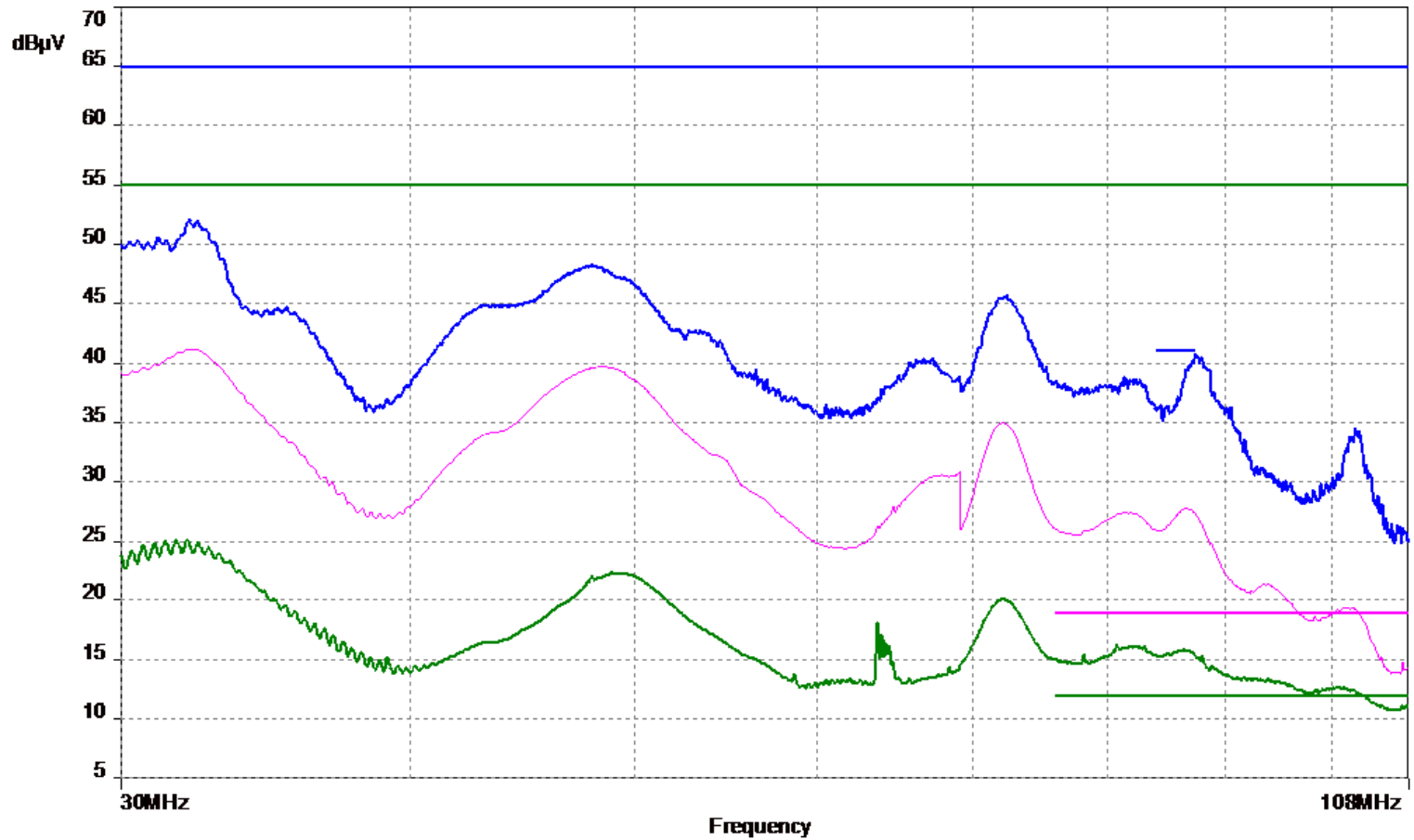


Bild 2 Grenzwertkurve für Messungen leitungsgeführter Störungen von elektronischen Komponenten

Figure 2 Limit line for measurement of conducted interference from electronic components

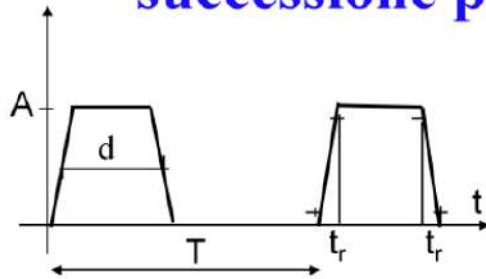
Esempio di misura



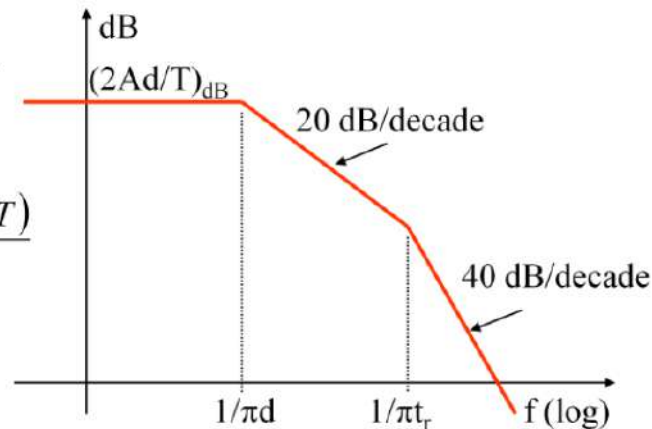
Tipologia di Disturbo

(Ricordiamoci le Lezioni del Prof. Pozzolo)

Inviluppo dello spettro di una successione periodica di impulsi



$$A_n = 2A \frac{d}{T} \cdot \frac{\text{sen}(n\pi d/T)}{n\pi d/T} \cdot \frac{\text{sen}(n\pi t_r/T)}{n\pi t_r/T}$$



Cosa devo considerare?

- Ampiezze (tensioni-correnti)
- Frequenze in gioco
- Fronti di salita (dV/dt – dI/dt)

Per l'alimentatore switching ad esempio:

- Frequenza 100kHz
- Ampiezza della tensione e della corrente
- Fronti di salita del MOS ma anche dei diodi ecc.

Su che Frequenze?

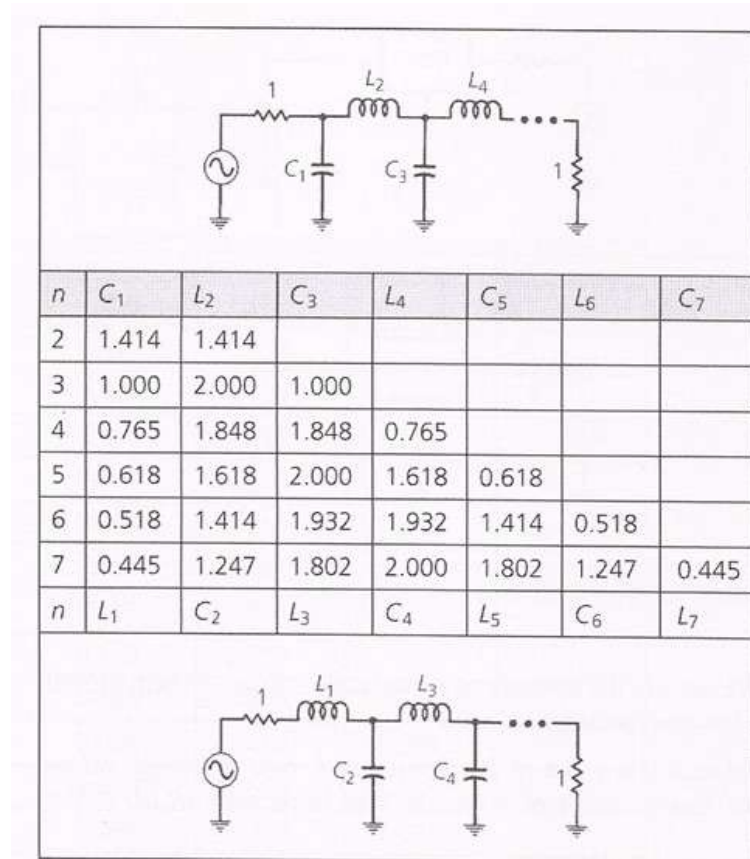
- La fondamentale ma anche le Armoniche
 - Ricordiamoci che le armoniche hanno valori molto più bassi ma anche i limiti scendono.
 - Per una tensione di 10V (140dBuV) lo 0,01% = 1/10.000 sono ancora 60dBuV. Livello prossimo o superiore ai limiti.
- Fronte di salita veloce implica frequenze molto più alte da considerare, chi si muove a 100kHz può avere un tr di 100ns o peggio e non dimentichiamo il recovery dei diodi.

Cosa dice la Teoria (molto soft)

- Di filtri ce ne sono di tantissimi tipi, anzi possiamo dire che ogni progettista ha il suo.
- Ma tra quelli TABELLATI i più comuni sono:
 - Butterworth
 - Chebyshev
 - Bessel

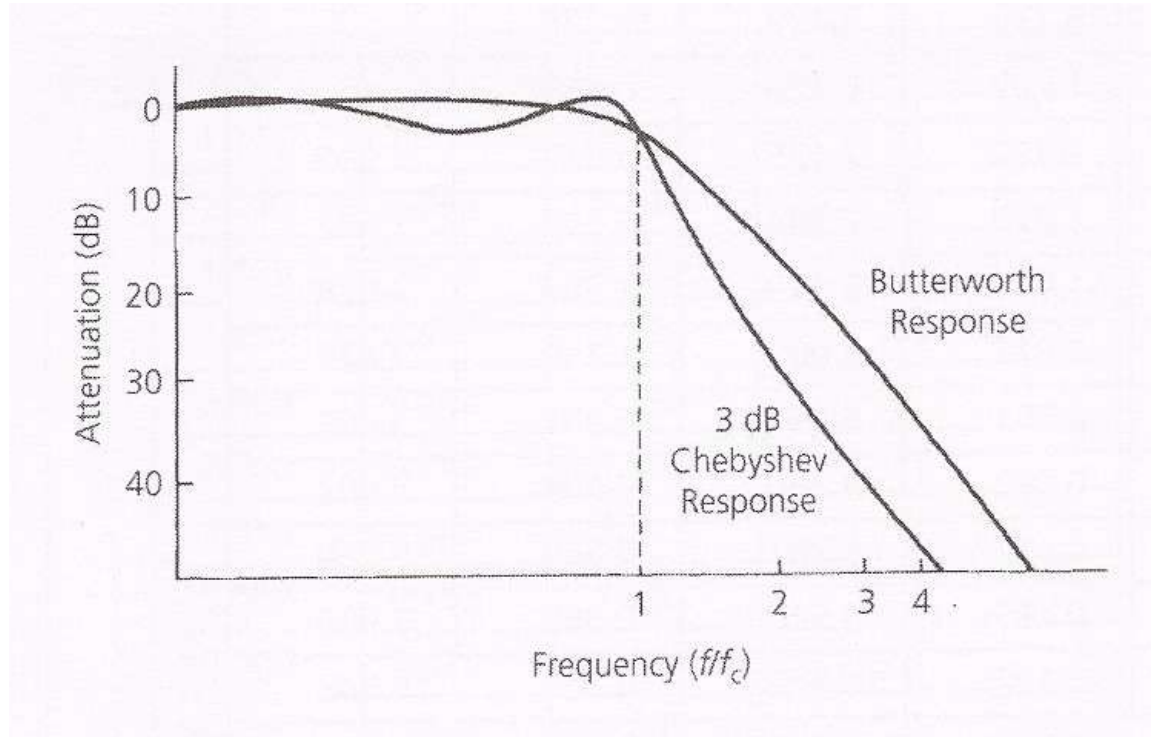
Esempio di Tabella di Butterworth con

$$R_S = R_L$$



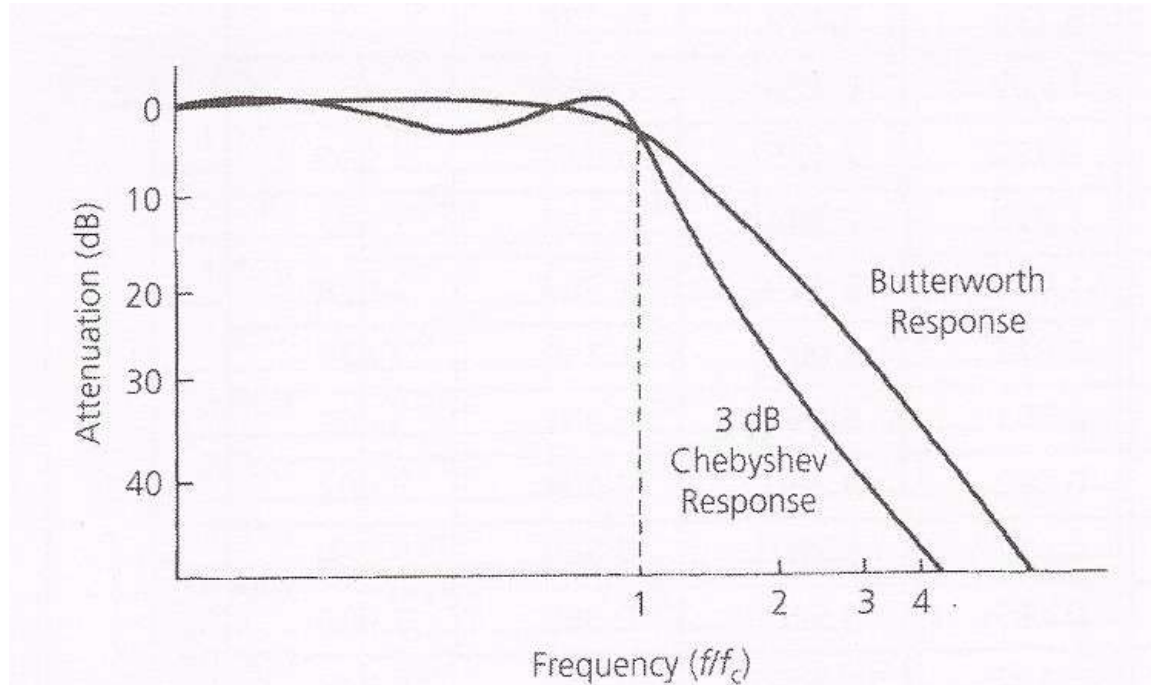
Come si comportano...

Dobbiamo fare qualche calcolo, ma ricordiamoci che siamo nel mondo EMC dove le «**SPANNE**» sono l'unità di misura.



Come si comportano...

Dobbiamo fare qualche calcolo, ma ricordiamoci che siamo nel mondo EMC dove le «**SPANNE**» sono l'unità di misura.



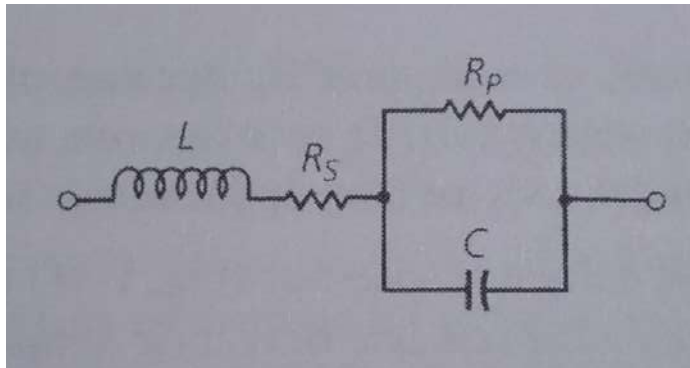
QUINDI?

Filtro del Primo Ordine

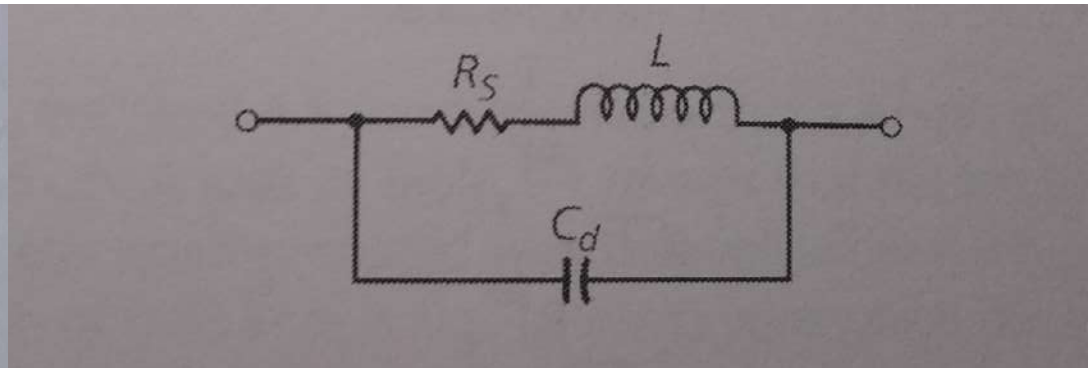
- Si ricomincia dal Condensatore e dall'Induttanza.
- Ma con i parametri parassiti come si comportano?

Filtro del Primo Ordine

- Composto da Condensatore o Induttanza.



Circuito Condensatore Reale



Circuito Induttanza Reale

Condensatori con tecnologia differente

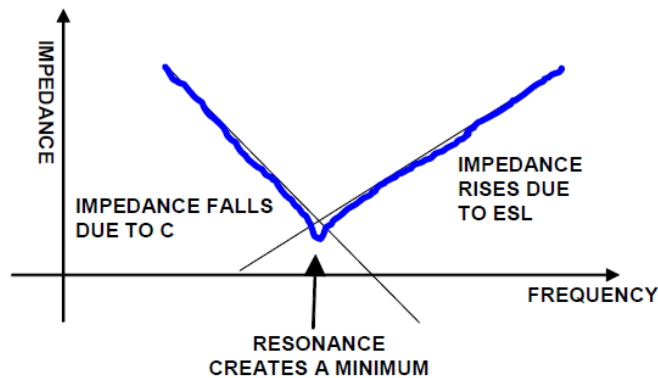


FIGURE 8. IMPEDANCE OF AN ACTUAL CAPACITOR (NON-IDEAL)

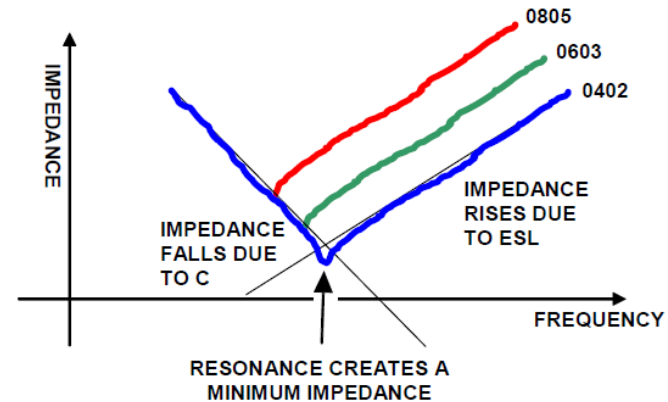


FIGURE 9. IMPEDANCE OF AN ACTUAL CAPACITOR (NON-IDEAL) IN DIFFERENT SURFACE-MOUNT PACKAGES

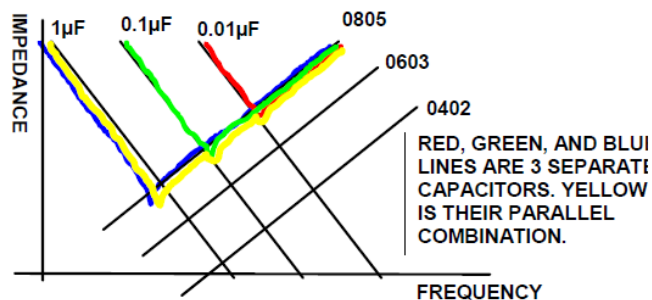


FIGURE 10. IMPEDANCE OF THREE CAPACITORS, THE SAME SURFACE-MOUNT PACKAGES

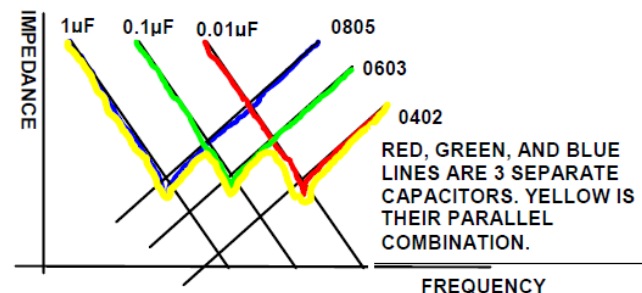


FIGURE 11. IMPEDANCE OF THREE CAPACITORS, SCALED SURFACE-MOUNT PACKAGES

I parametri parassiti li posso misurare?

- Si ma non con un normale Ponte RLC;
- Ci vogliono strumenti più evoluti e naturalmente più costosi:
 - Ponti ad alta frequenza (100MHz) dove lo strumento diventa molto costoso ed alla fine risulta ancora limitato in frequenza;
 - Analizzatori Vettoriali ma non di facile utilizzo ed anche qui costosi.
- Allora... li si trova abbastanza facilmente dalla carta...

Condensatore

- Ci serve conoscere il valore della Induttanza parassita:
 - Ci può essere data dal Costruttore;
 - Altrimenti si ricava dalla frequenza di Risonanza che ci può essere data dal Datasheets:

$$Fr = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

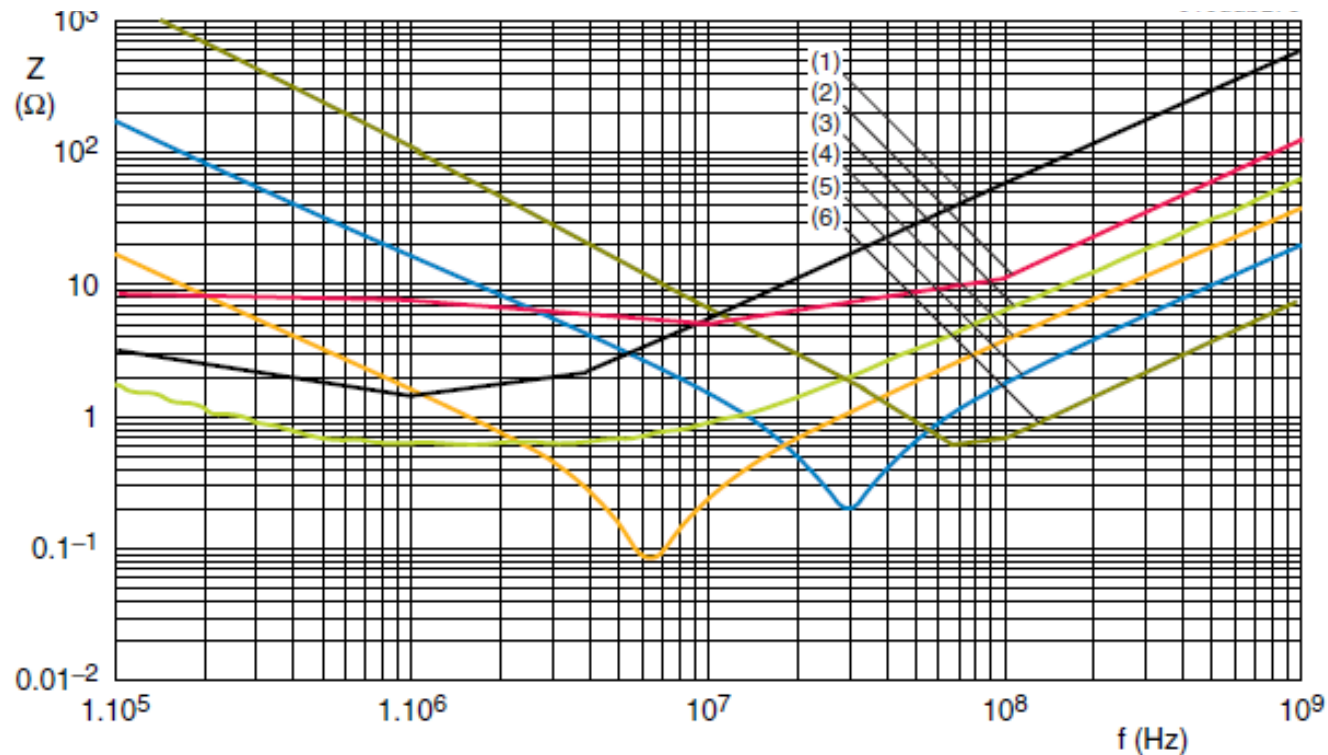
- Oppure si ricava ad occhio dalle dimensioni fisiche dal componente! Ricordate 1nH a millimetro e non ci si sbaglia di molto. In base alle dimensioni fisiche e dai reofori per i componenti true-hole.
- Ordine di grandezza dei valori: 1nH ÷ 50nH

Parametri C

Table 2. Capacitor characteristics

Capacitor			Parameter		
Plot ^[1]	Value	Type	R (Ohm)	L (nH)	Fr (MHz)
1	1 μ F	electrolytic	1.8	13	0.8 ^[2]
2	10 μ F	electrolytic	6.4	49	10 ^[2]
3	1 μ F	tantalum	0.8	6	2 ^[2]
4	100 nF	ceramic	0.08	3	7.1
5	10 nF	ceramic	0.2	3	29
6	1 nF	ceramic	0.7	3	22

Risposta in Frequenza C



Induttanza

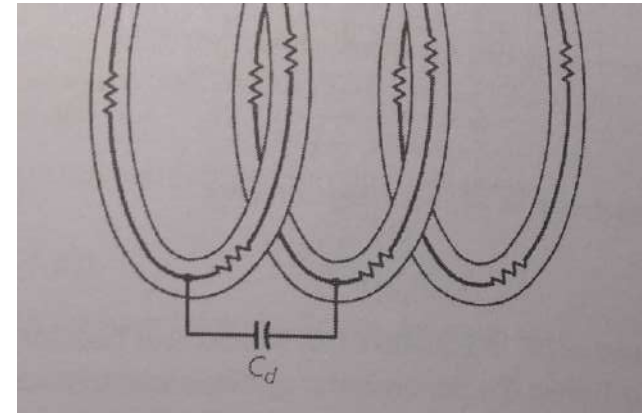
- Ci serve conoscere il valore della Capacità parassita:
 - Ci può essere data dal Datasheets;
 - Si ricava dalla frequenza di Risonanza che ci può essere data dal Datasheets:

$$Fr = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

- Ad occhio è difficile da valutare! Altrimenti non sarebbe una Induttanza.
- Ordine di grandezza dei valori: 0,5pF ÷ 50pF

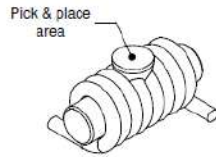
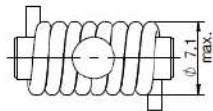
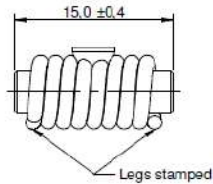
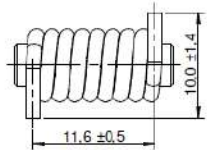
Parametri Induttanza

- Deriva dalla capacità tra spira e spira, in questo caso quella più critica è quella tra le prime e le ultime spire.
- Deriva anche dalla capacità tra spira-nucleo.



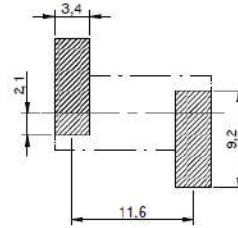
Caratteristica di L

Dimensions: [mm]



Scale - 2:1

Recommended Land Pattern: [mm]



Scale - 2:1

Electrical Properties:

Properties	Test conditions	Value	Unit	Tol.
Inductance	L 1 W 1 kHz	1	µH	±20%
Rated Current	I_{RI} $\Delta T = 40$ K	22.5	A	max.
Saturation Current	I_{SAT} $\Delta L/L < 10$ %	29	A	typ.
DC Resistance	R_{DC} @ 20 °C	2	mΩ	±20%
Self Resonant Frequency	f_{RS}	213	MHz	typ.

Certification:

RoHS Approval	Compliant [2011/65/EU&2015/863]
REACH Approval	Conform or declared [(EC)1907/2006]

General Information:

It is recommended that the temperature of the component does not exceed +150°C under worst case conditions

Ambient Temperature (referring to T_a)	-40 up to +110 °C
Operating Temperature	-40 up to +150 °C
Storage Conditions (in original packaging)	< 40 °C ; < 75 % RH
Moisture Sensitivity Level (MSL)	1

Test conditions of Electrical Properties: +20 °C, 33 % RH if not specified differently



WÜRTH ELEKTRONIK eSOS GmbH & Co. KG
 EMC & Inductive Solutions
 Max-Eyth-Str. 1
 74631 Wiedenbrunn
 Germany
 Tel. +49 (0)79 42 945 -0
 www.we-online.com
 eSOS@we-online.com

DATE	REVISON	DATE (YYYY-MM-DD)	GENERAL TOLERANCE	PROJECTION METHOD
MaFi	001.000	2019.02.13	DN ISO 2768-1m	
DESCRIPTION				
WE-RCIS Rod Core Inductor SMT				
ORDER CODE				
7847227010				
REFERENCE	STATUS	DATE	ISSUE	
eSOS	Valid		1/7	

This electronic component has been designed and developed for usage in general electronic equipment only. This product is not authorized for use in equipment where a higher safety standard and reliability standard is especially required or where a failure of the product is potentially dangerous to persons or property. Würth Elektronik eSOS GmbH & Co. KG products are neither designed nor intended for use in areas such as military, aerospace, aviation, nuclear control, submarine, transportation (automotive control, train control, stop control), transportation signal, disaster prevention, medical, public information network, etc. Würth Elektronik eSOS GmbH & Co. KG must be informed about the intent of such usage before the design is made. In addition, sufficient reliability evaluation checks for safety must be performed on every electronic component which is used in selected critical size (highly high safety and reliability functions) in particular.

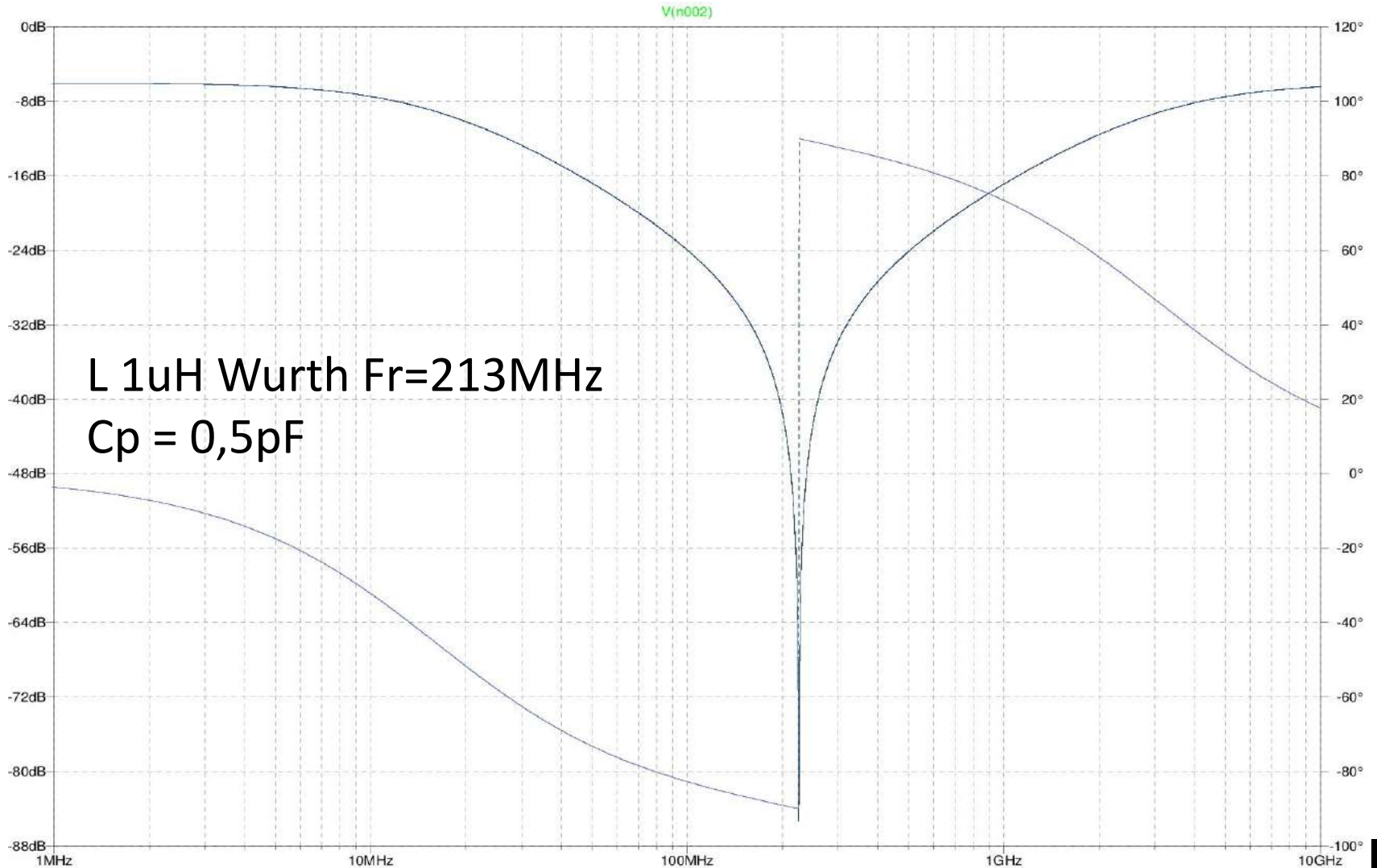
Parametri parassiti Cp

Electrical Properties:

Properties		Test conditions	Value	Unit	Tol.
Inductance	L	1 W 1 kHz	1	μH	$\pm 20\%$
Rated Current	I_R	$\Delta T = 40 \text{ K}$	22.5	A	max.
Saturation Current	I_{SAI}	$ \Delta L/L < 10\%$	29	A	typ.
DC Resistance	R_{DC}	@ 20 °C	2	m Ω	$\pm 20\%$
Self Resonant Frequency	f_{res}		213	MHz	typ.

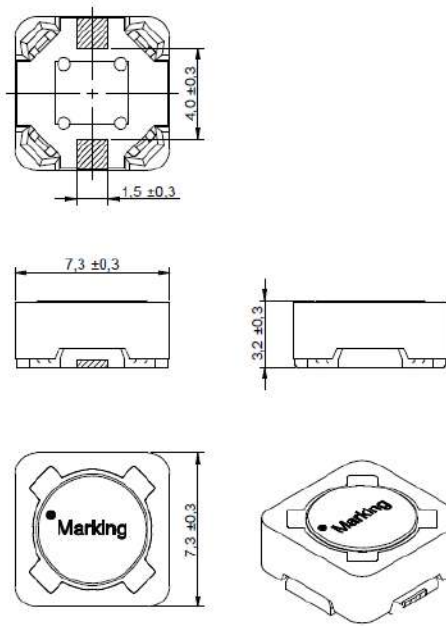
Certification:

Risposta in frequenza L



Caratteristica di L

Dimensions: [mm]

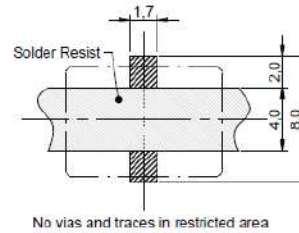


Scale - 3:1

Product Marking:

Start of Winding	•
Marking	*101 (Inductance Code)

Recommended Land Pattern: [mm]



Scale - 3:1

Schematic:



Electrical Properties:

Properties	Test conditions	Value	Unit	Tol.
Inductance	L 100 kHz/ 250 mV	100	μ H	$\pm 20\%$
Rated Current	I_R $\Delta T = 40$ K	0.72	A	max.
Saturation Current	I_{SAT} $\Delta L/L < 10$ %	0.75	A	typ.
DC Resistance	R_{DC} @ 20 °C	600	m Ω	typ.
DC Resistance	R_{DC} @ 20 °C	720	m Ω	max.
Self Resonant Frequency	f_{res}	9.7	MHz	typ.

Certification:

RoHS Approval	Compliant [2011/65/EU&2015/863]
REACH Approval	Conform or declared [(EC)1907/2006]
Halogen Free	Conform [JEDEC JS709B]
Halogen Free	Conform [IEC 61249-2-21]

General Properties:

It is recommended that the temperature of the component does not exceed +125 °C under worst case conditions	
Ambient Temperature (referring to T_a)	-40 up to +85 °C
Operating Temperature	-40 up to +125 °C
Storage Conditions (in original packaging)	< 40 °C; < 75 % RH
Moisture Sensitivity Level (MSL)	1
Test conditions of Electrical Properties: +20 °C, 33 % RH if not specified differently	
Coplanarity of the terminal pads: 120 μ m	



With Elektronik eGos GmbH & Co. KG
EMC & Inductive Solutions
Max-Eyth-Str. 1
7430 Biberach
Germany
Tel: +49 (0) 7142 945-0
www.we-online.com
esales@we-online.com

DRUCKZUSTAND	REVISION	DATE (YYYY-MM-DD)	GENERAL RELEASE	SELECTION METHOD
JRS	003.001	2019-02-15	DIN ISO 2768-1m	
DESCRIPTION				ORDER CODE
WE-PDA SMT Shielded Power Inductor				784778101
DRUCKZUSTAND	REVISION	DATE	STATUS	REV
7332			eGos	1/7

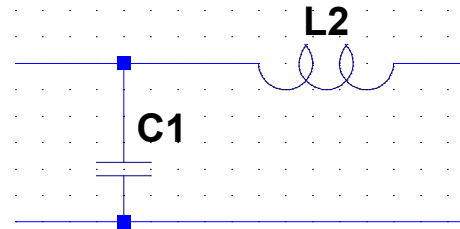
Parametri parassiti Cp

Electrical Properties:

Properties		Test conditions	Value	Unit	Tol.
Inductance	L	100 kHz/ 250 mV	100	μH	$\pm 20\%$
Rated Current	I_R	$\Delta T = 40 \text{ K}$	0.72	A	max.
Saturation Current	I_{SAT}	$ \Delta L/L < 10 \%$	0.75	A	typ.
DC Resistance	R_{DC}	@ 20 °C	600	m Ω	typ.
DC Resistance	R_{DC}	@ 20 °C	720	m Ω	max.
Self Resonant Frequency	f_{res}		9.7	MHz	typ.

Cp circa 3 pF

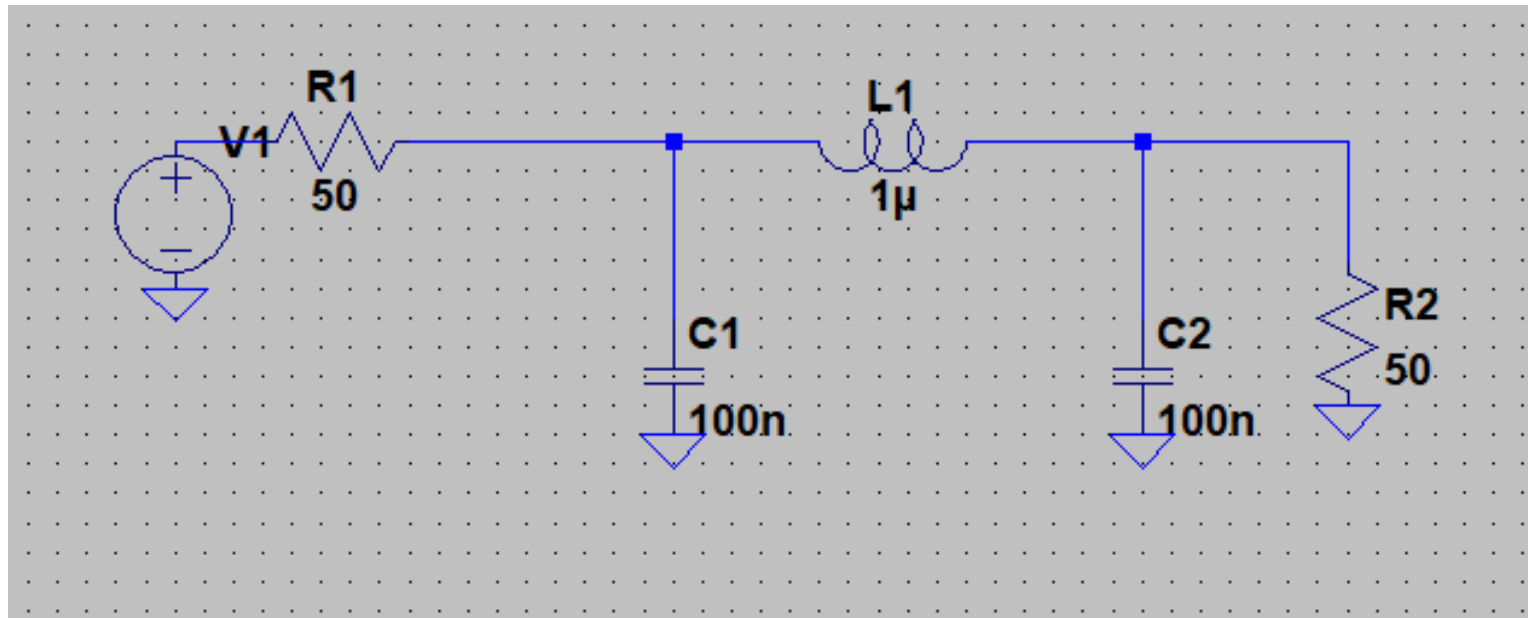
Filtri del secondo Ordine



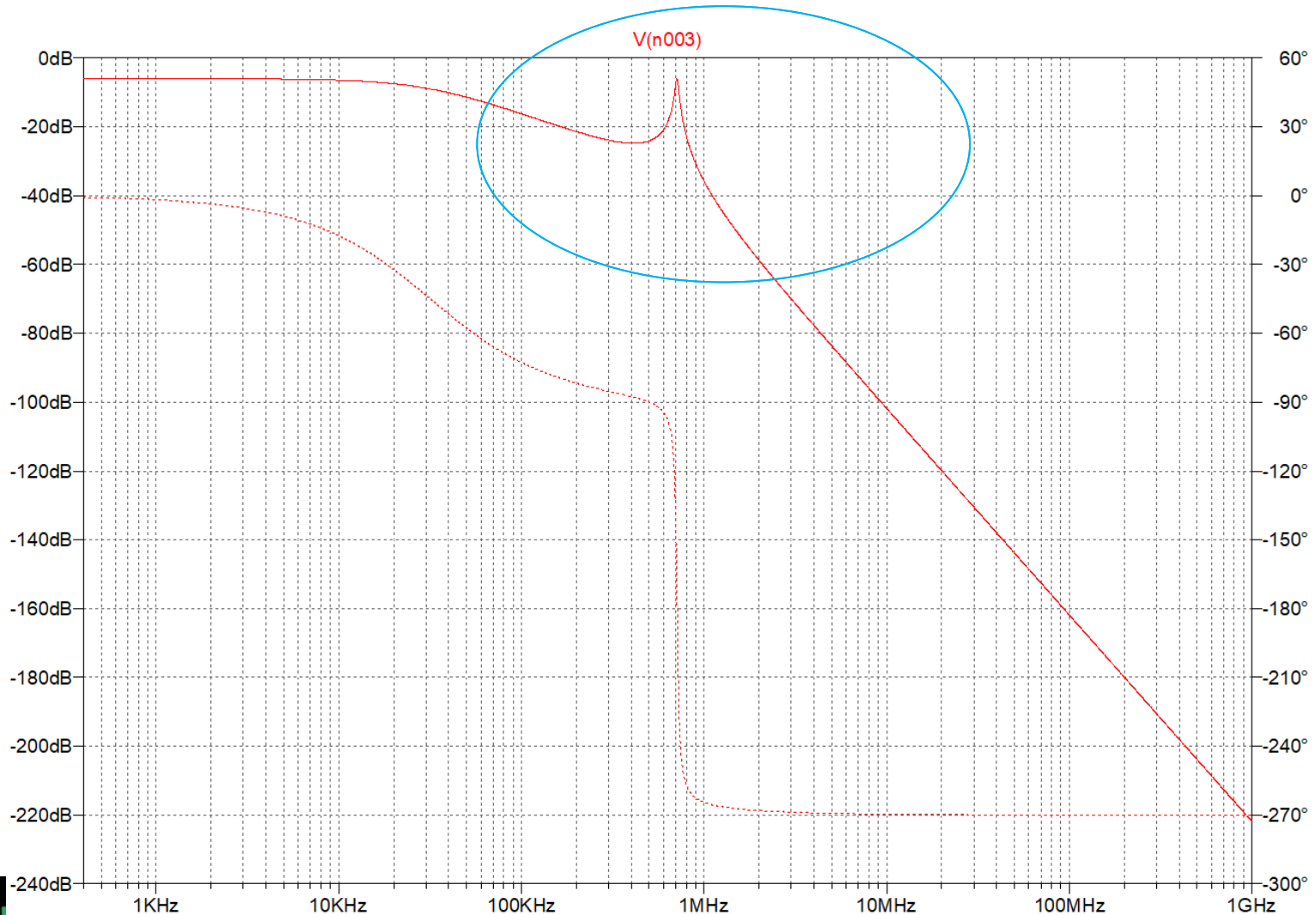
- Avro' sempre un altro Condensatore a valle vicino o lontano quindi abbiamo sempre a che fare con un filtro del 3° Ordine.

Filtro 3° Ordine

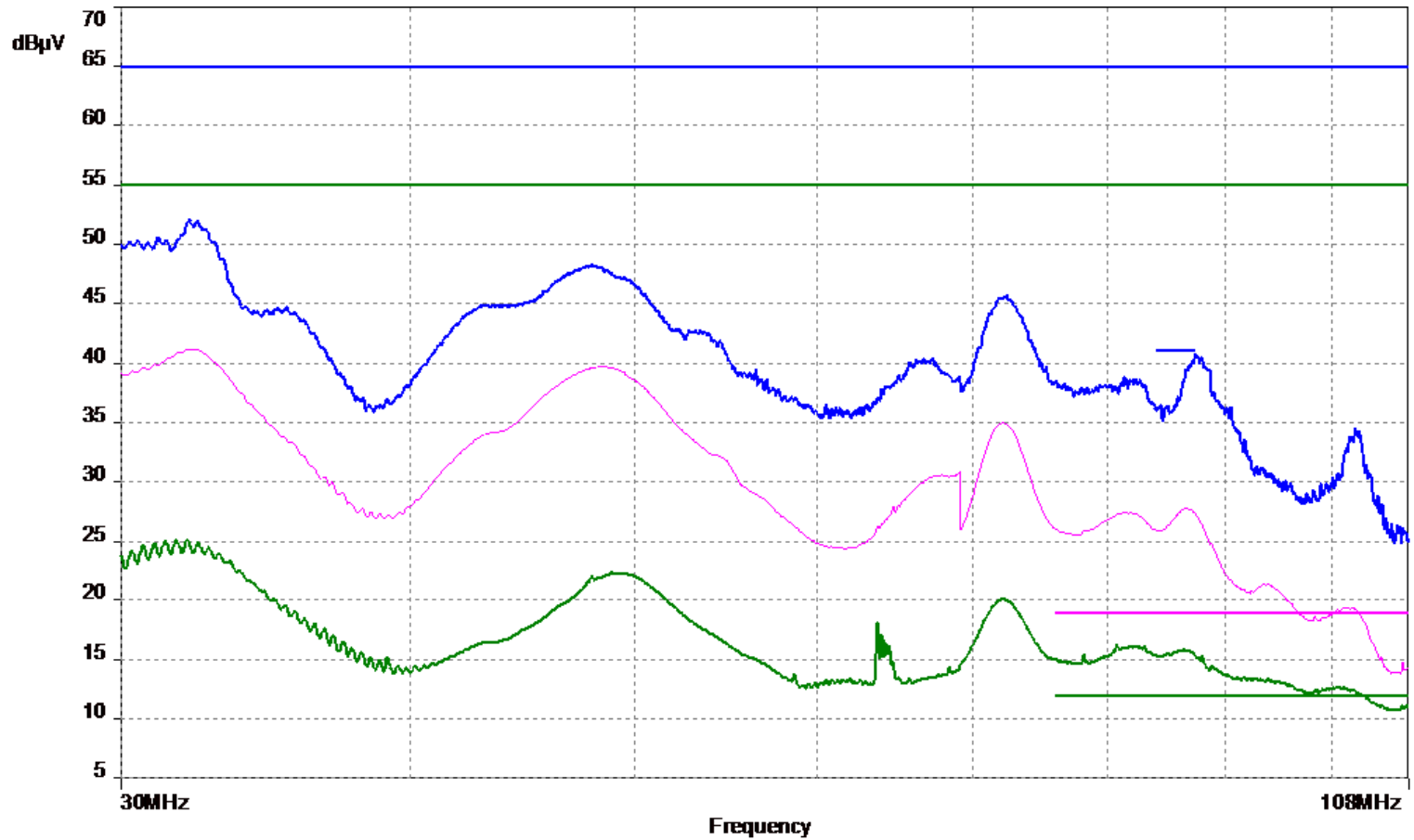
- Filtro CLC



Filtro 3° Ordine



Esempio di misura



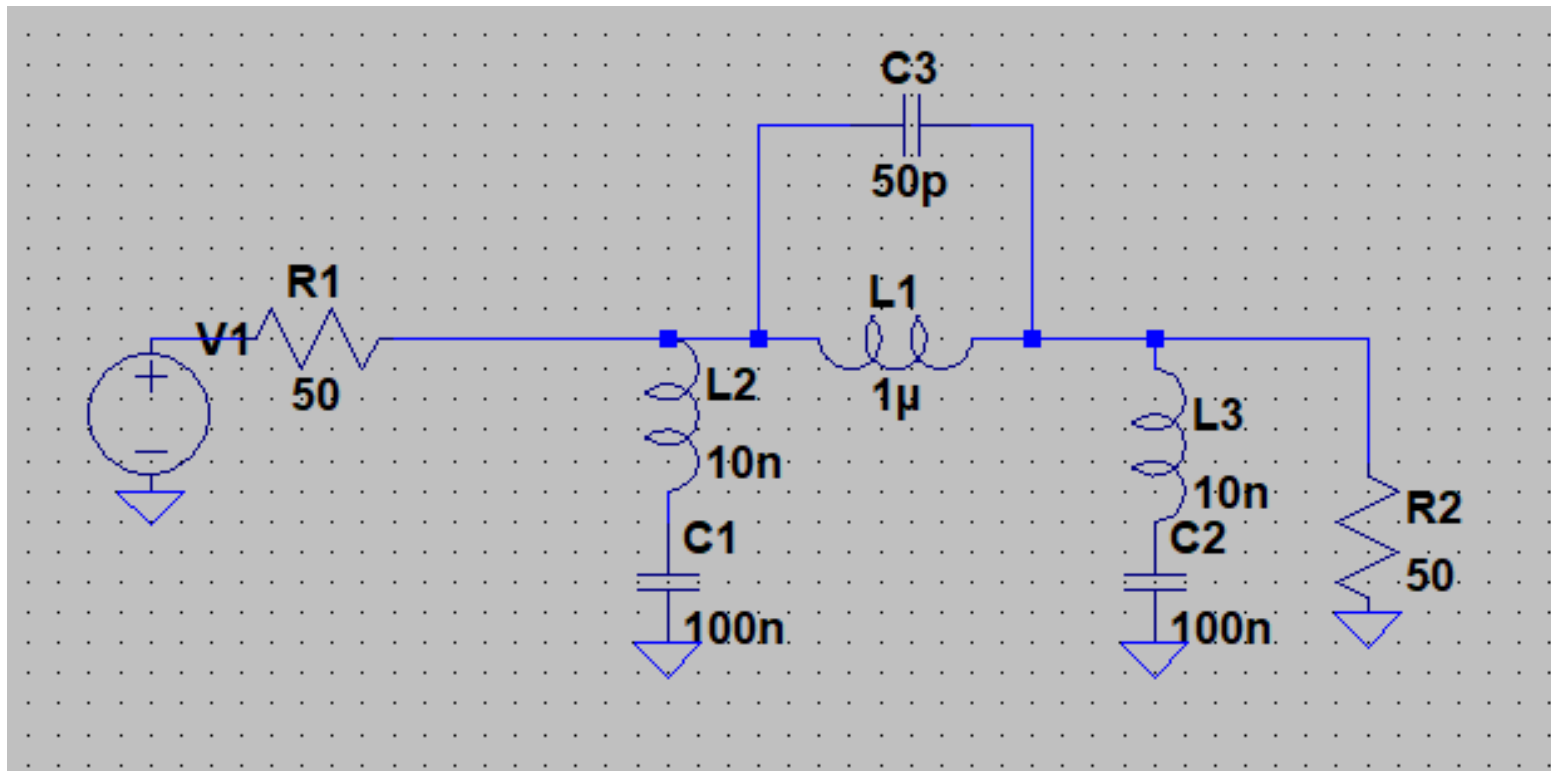
Ma in pratica ... (2)

- Bene direte Voi, abbiamo un filtro che ha
60 dB/dec

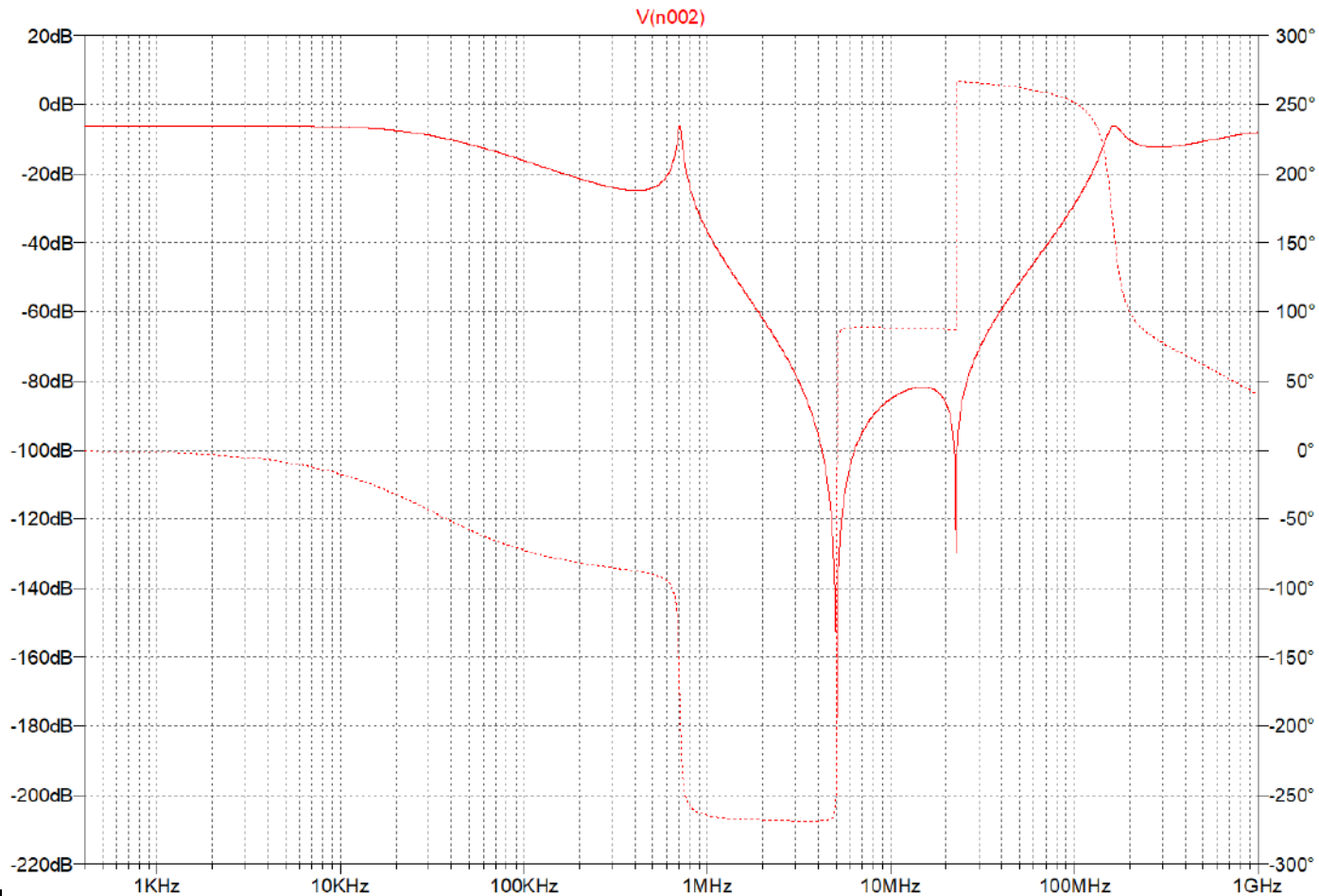
Ma sarà vero?

Aneddoto: il Progettista e' come un Cuoco, il piatto e' piu' buono se faccio attenzione agli ingredienti che uso!
(Prof. Franco Fiori)

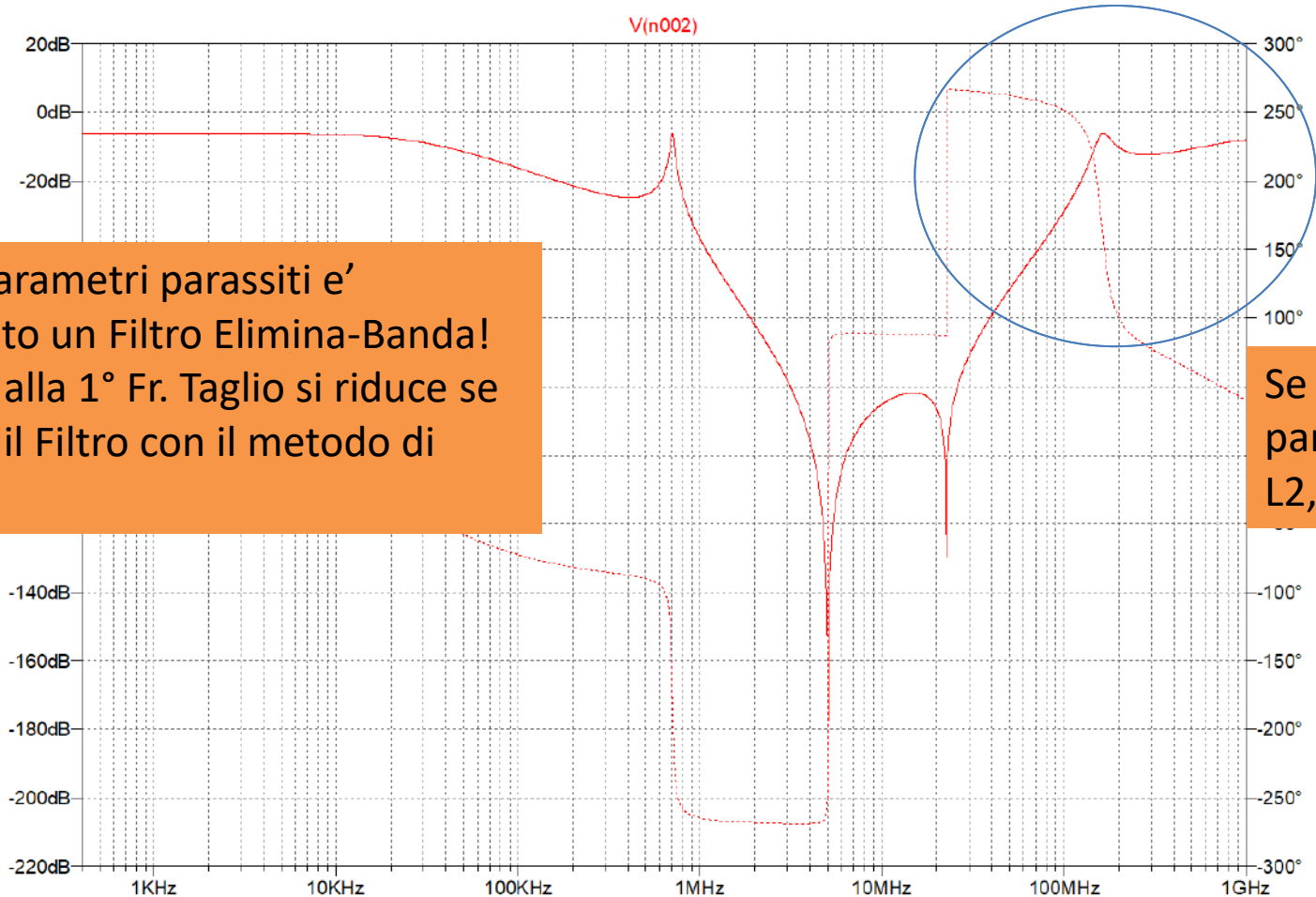
Filtro Reale (3° Ordine)



Filtro Reale (3° Ordine)



Filtro Reale (3° Ordine)



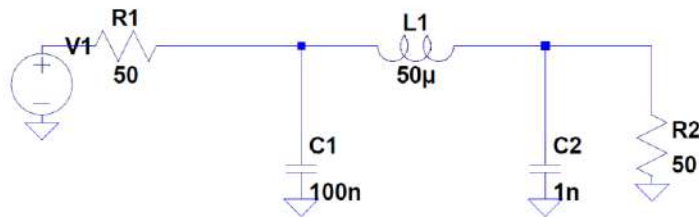
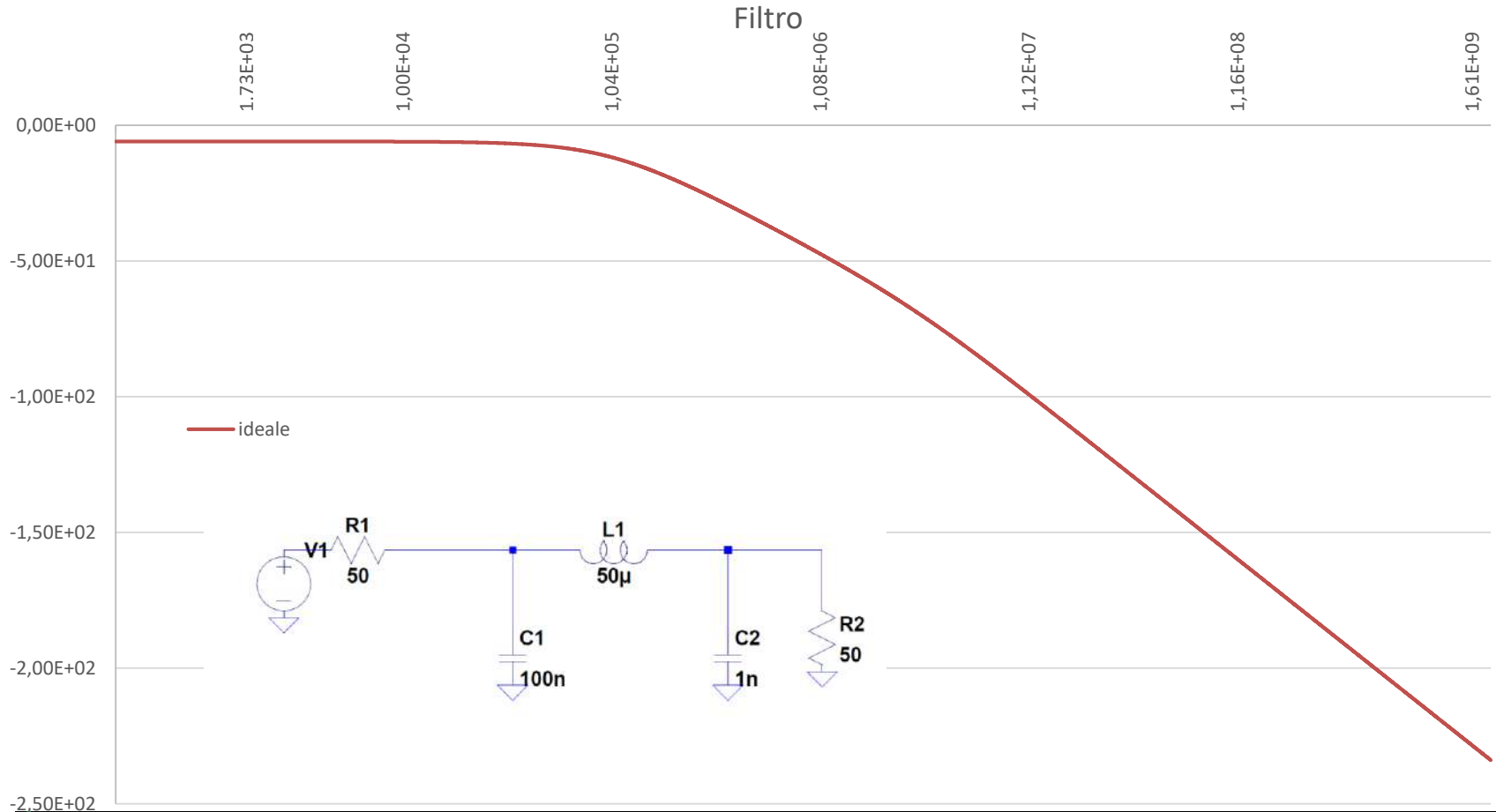
Con i parametri parassiti e' diventato un Filtro Elimina-Banda! Il picco alla 1° Fr. Taglio si riduce se calcolo il Filtro con il metodo di Bessel

Se riduco i parassiti cioè L2, L3 e C3

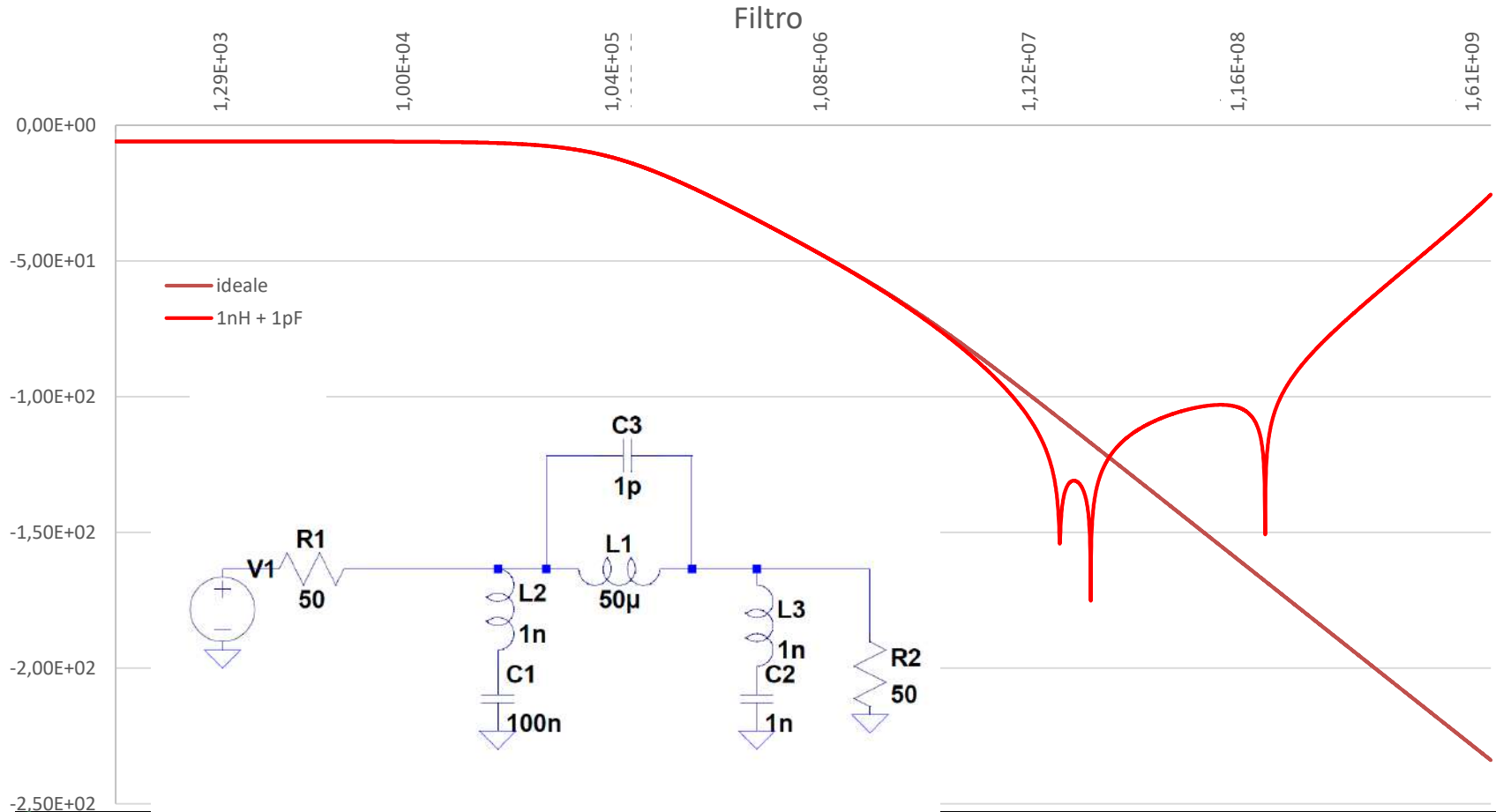
Analisi parametrica del Filtro

- Vediamo come cambia la curva del Filtro cambiando i valori dei parametri parassiti.
- Infatti la prima parte della banda deriva dai dati di targa, il resto dai parassiti!

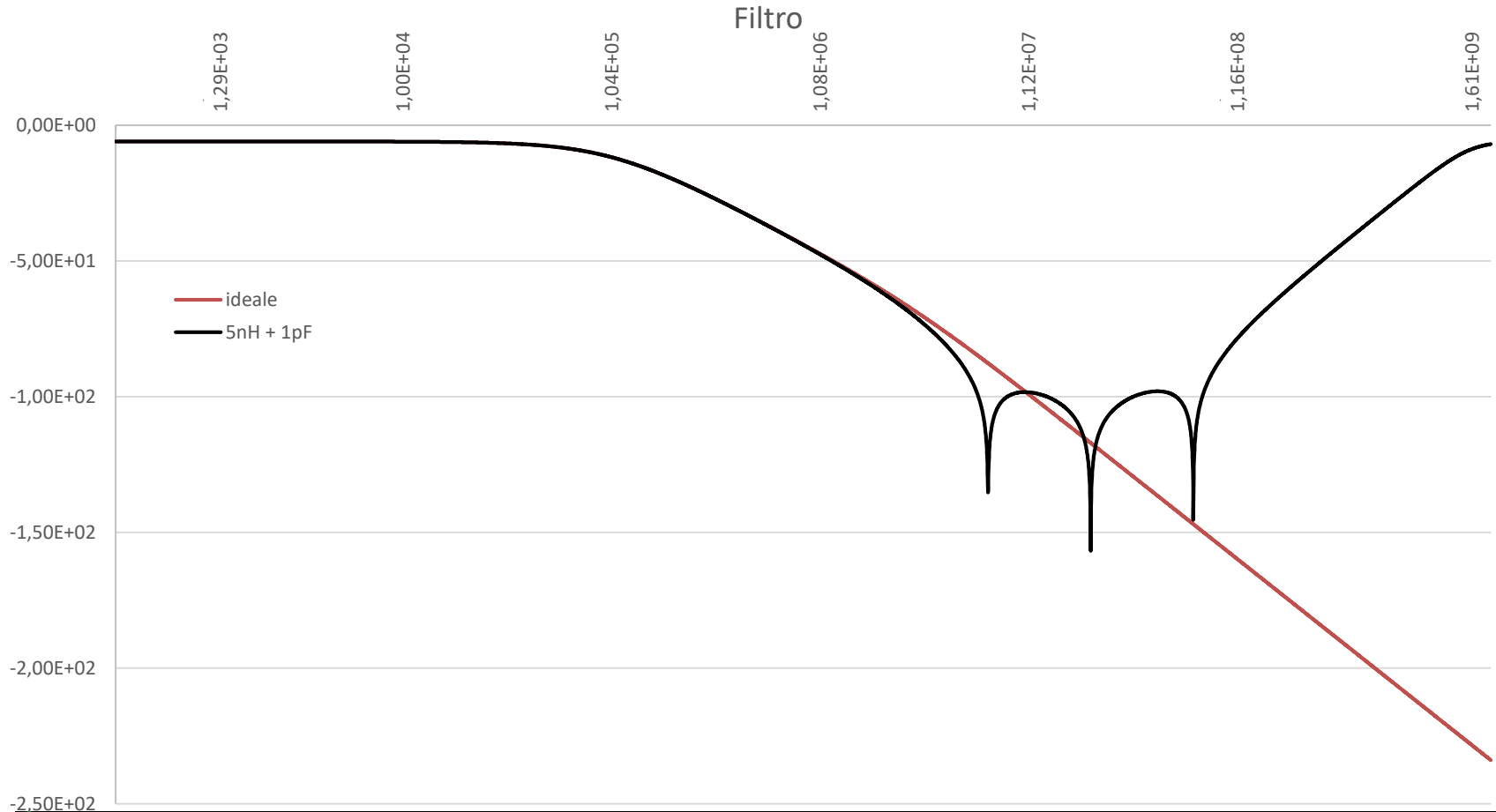
Filtro Ideale



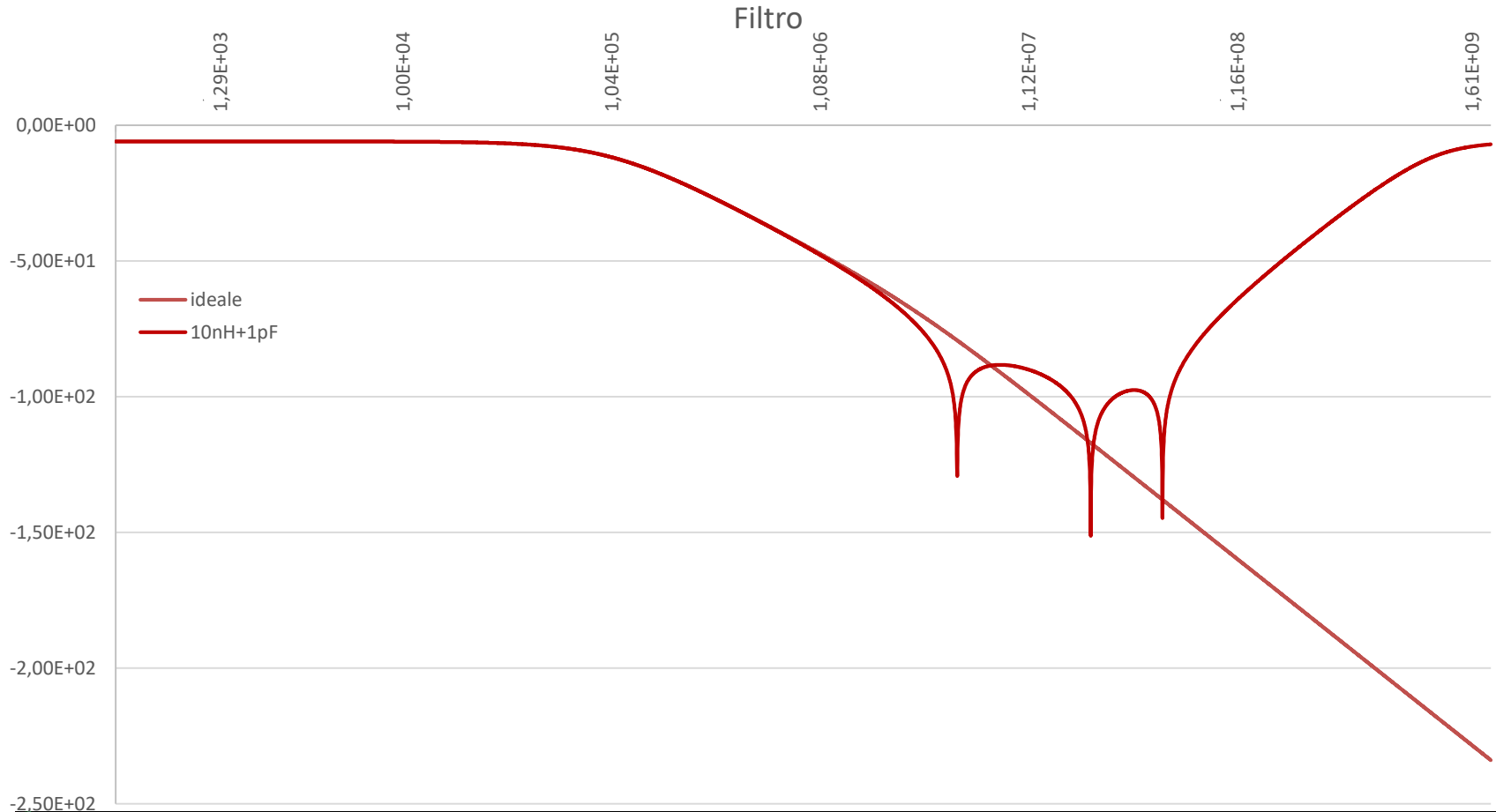
Filtro Reale (1nH+1pF)



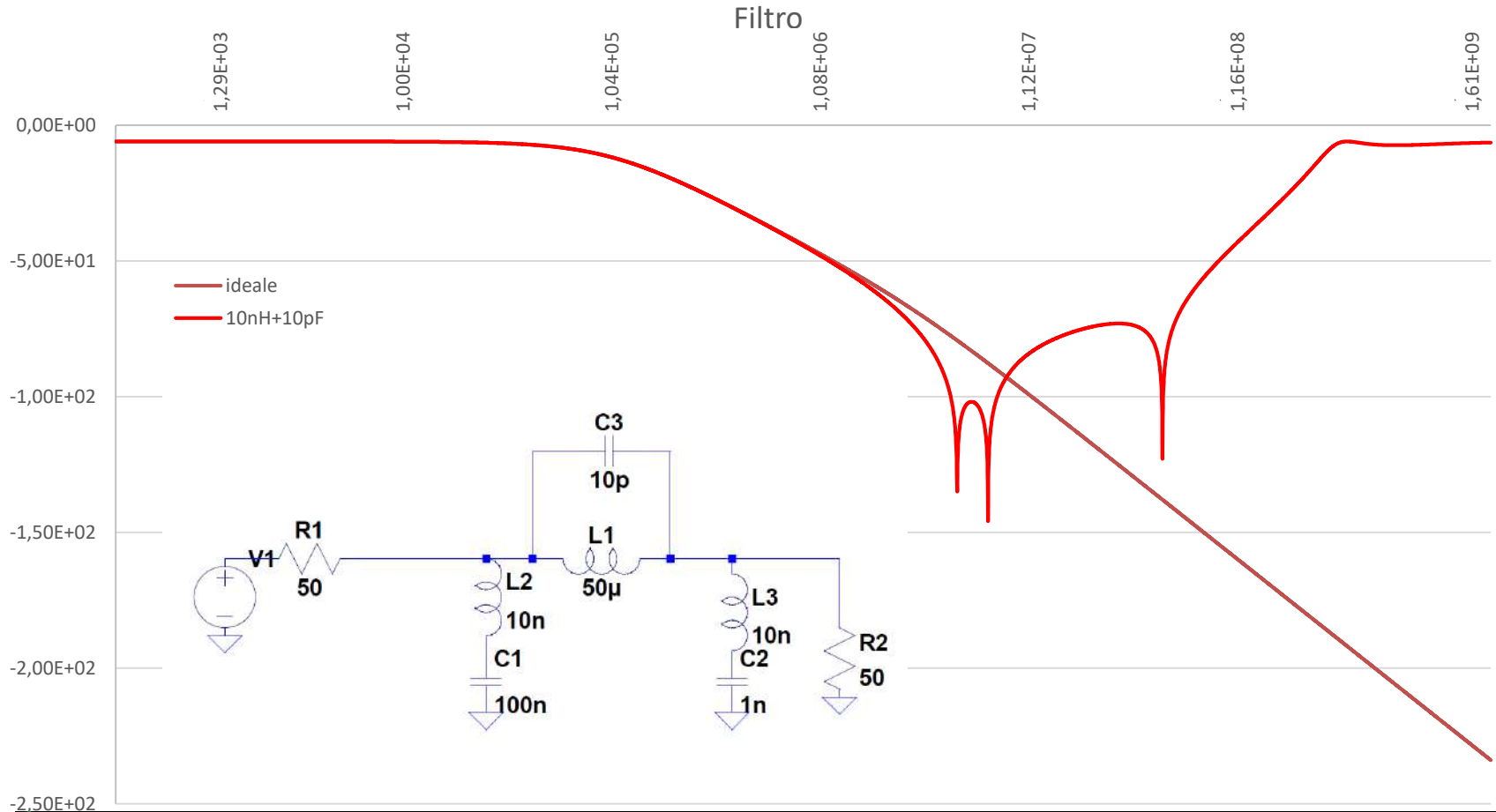
Filtro Reale (5nH+1pF)



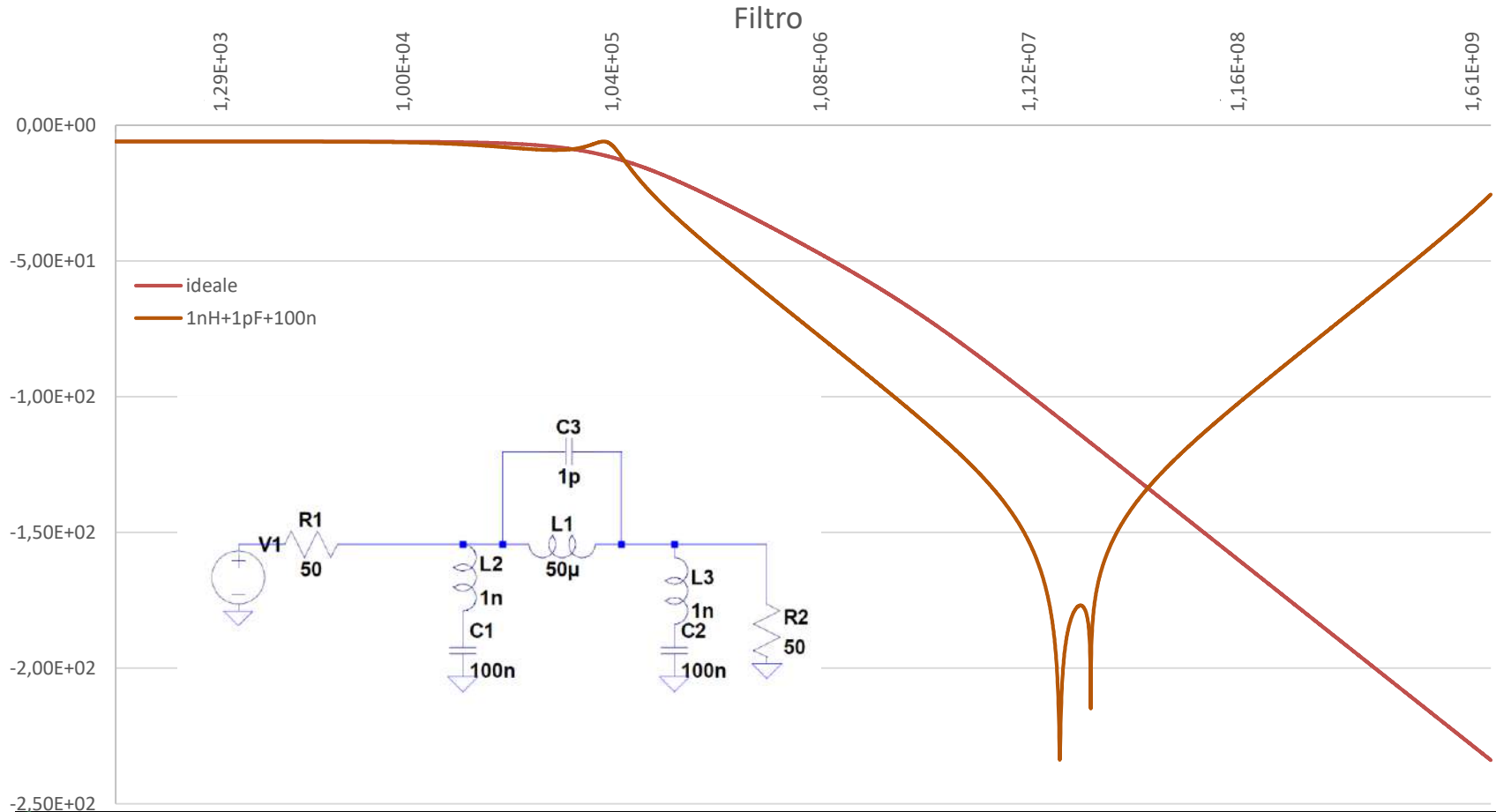
Filtro Reale (10nH+1pF)



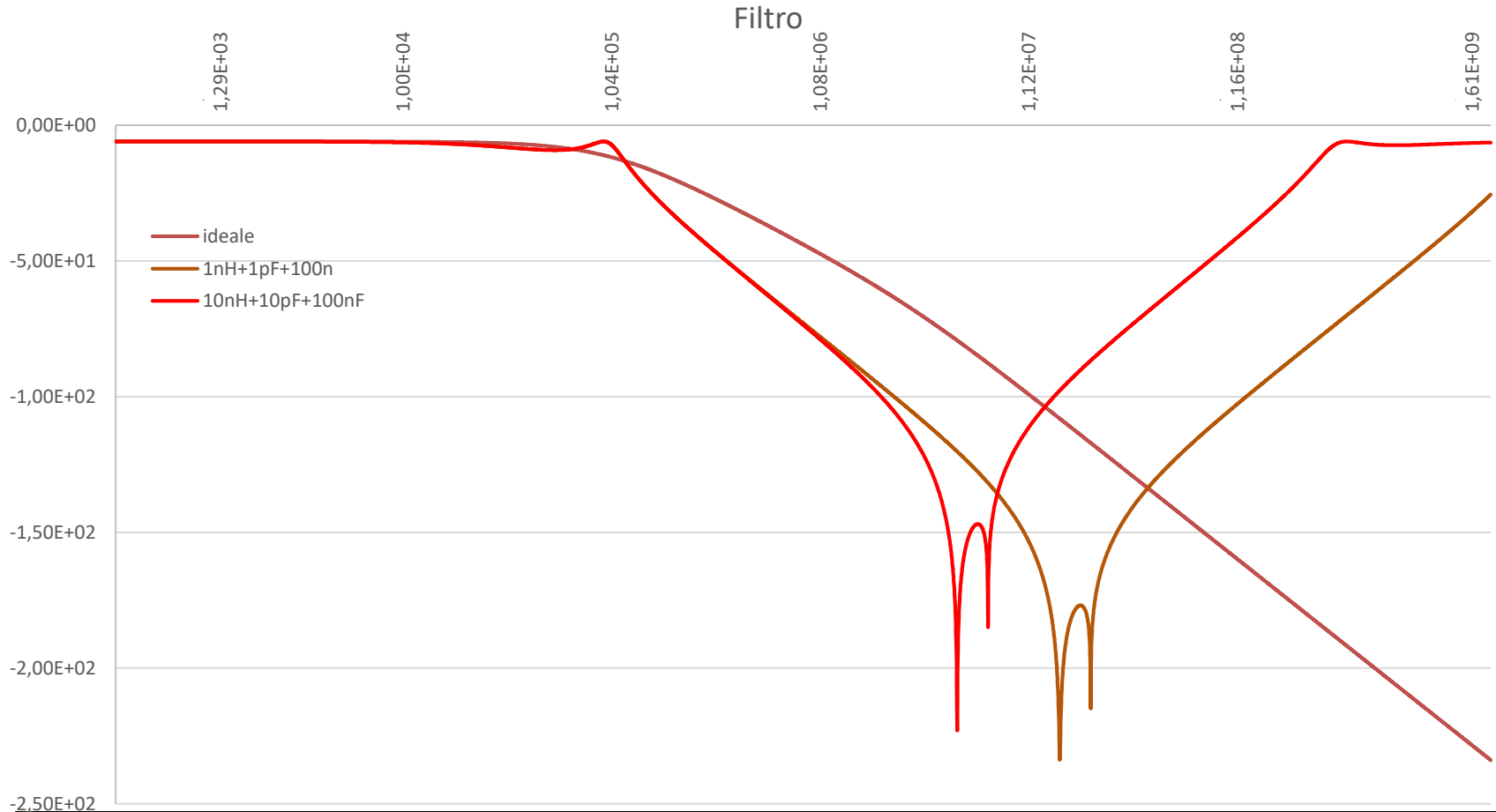
Filtro Reale (10nH+10pF)



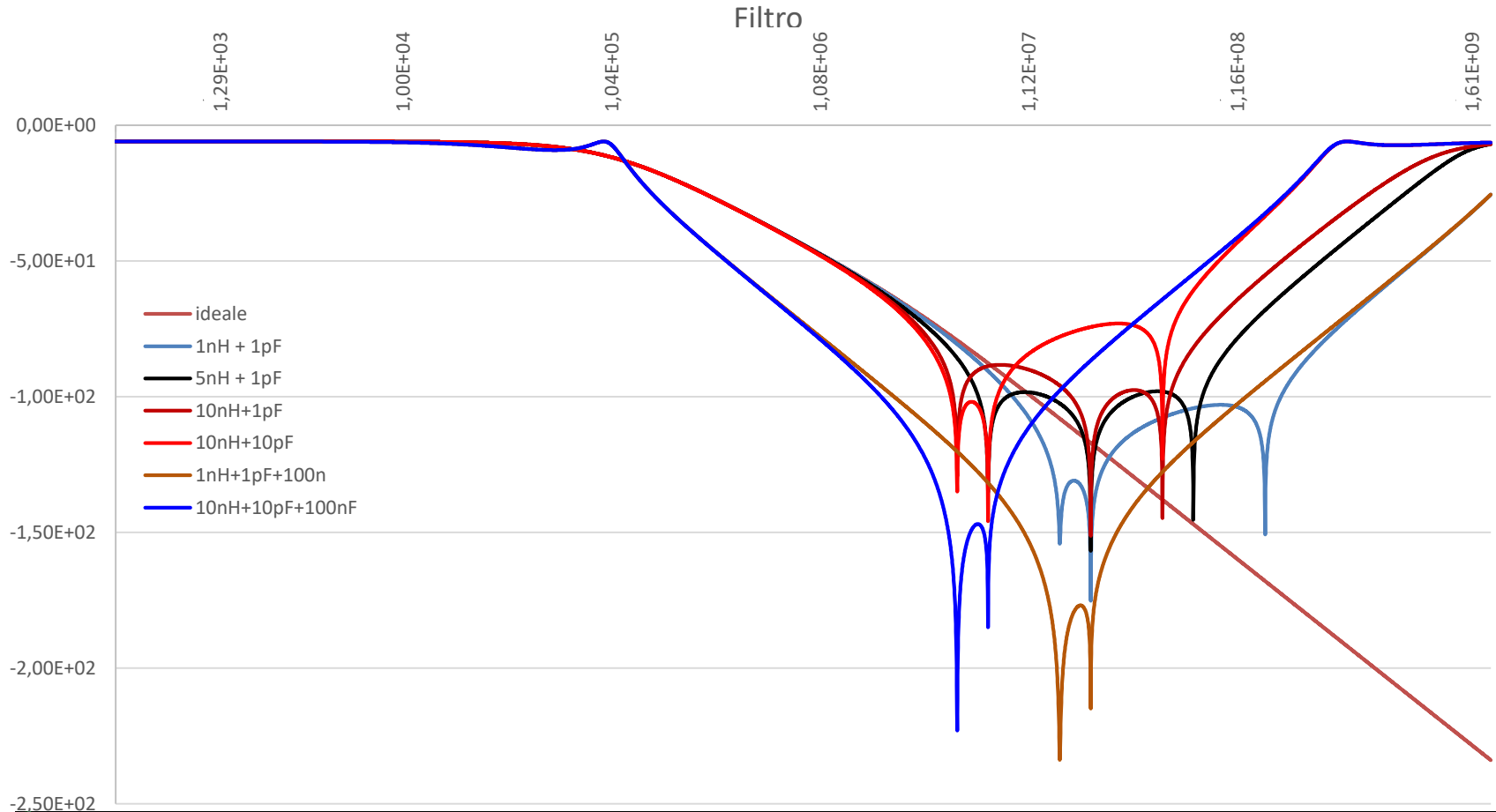
Filtro 100nF (1nH+1pF)



Filtro 100nF (10nH+10pF)



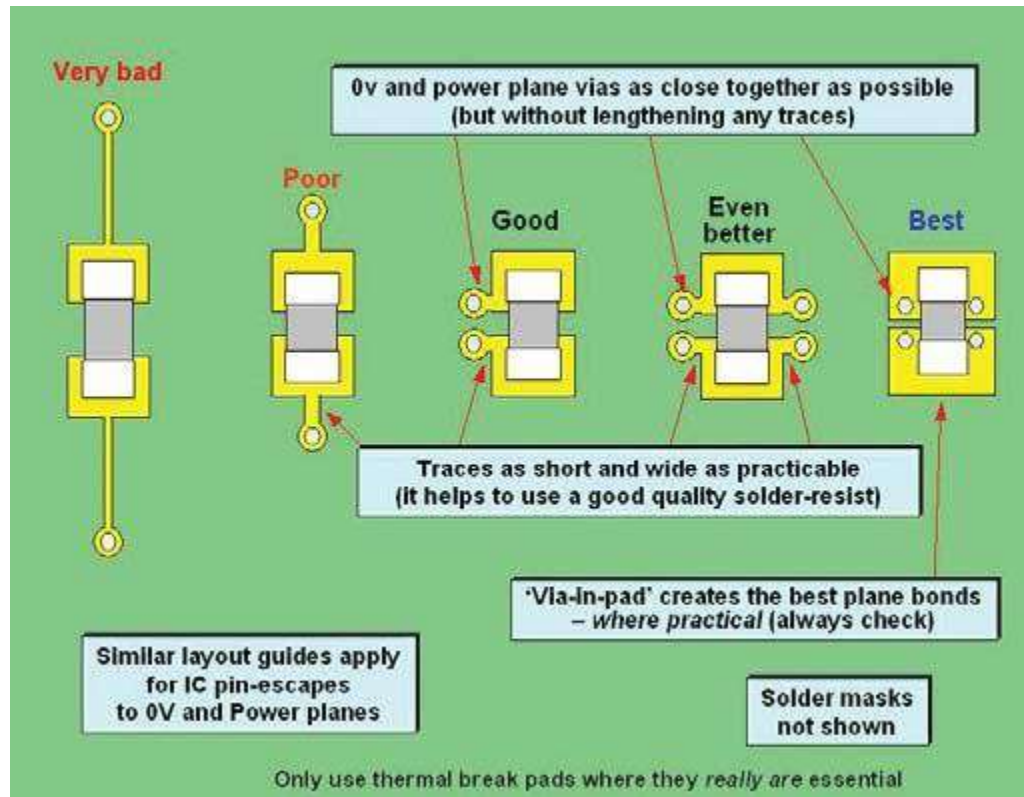
Andamento complessivo



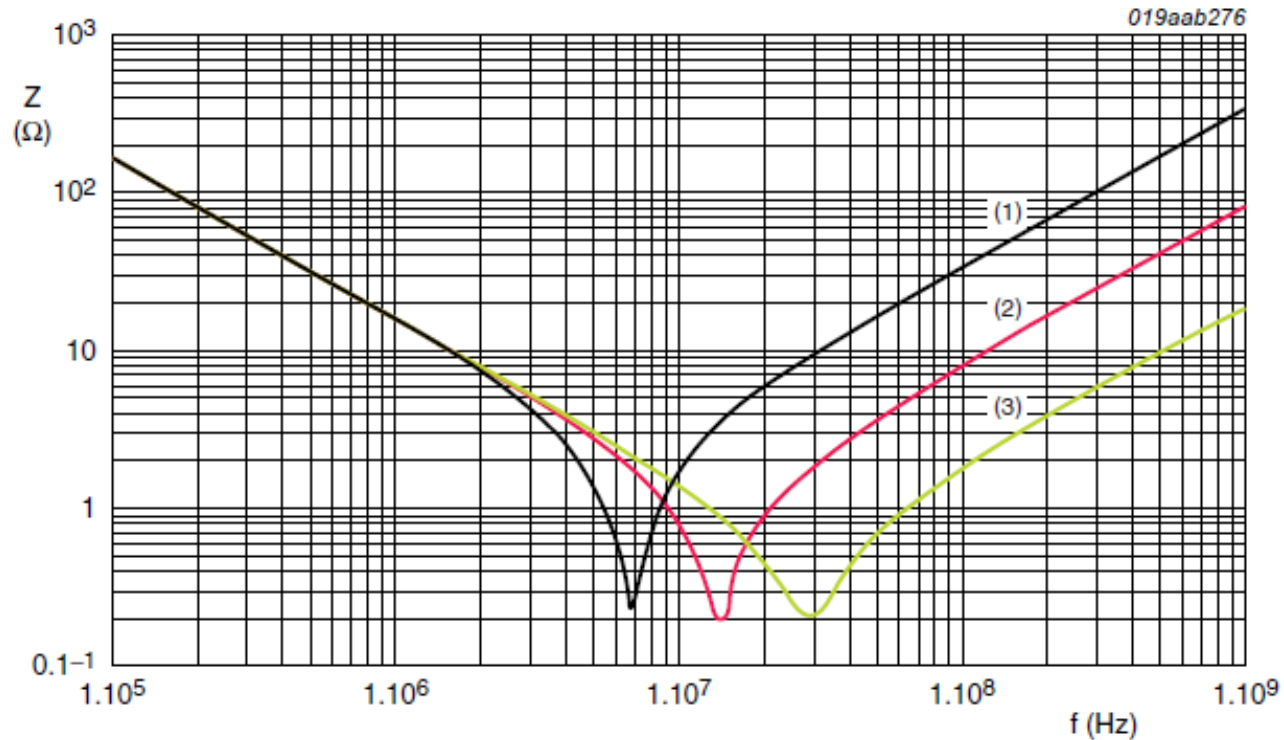
Come posso ridurre i Parametri parassiti nei C

- Nei Condensatori:
 - L'induttanza e' direttamente proporzionale alle dimensioni del Condensatore;
 - Usando piani e non piste per collegare il condensatore
 - Attenzione ai parametri introdotti dal PCB.

Come collegare il C a piste e piani



Parametri parassiti del PCB



- (1) = I1
- (2) = I2
- (3) = I3

Lo stesso C ma lunghezza dei collegamenti del PCB
via – via più lunghi.

Note: I3 < I2 < I1

... e i Parametri parassiti nelle L

- Nelle Induttanze:
 - Riducendo la capacità tra le spire
 - La capacità piu' critica e' quella tra le prime e le ultime spire.
 - Attenzione a come e' costruita l'induttanza.
 - Riducendo la capacità verso il nucleo

Foto Induttanze

- Semplice

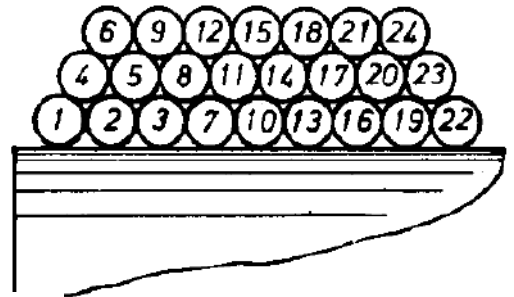


AVVOLGIMENTO
SPIRE UNITE



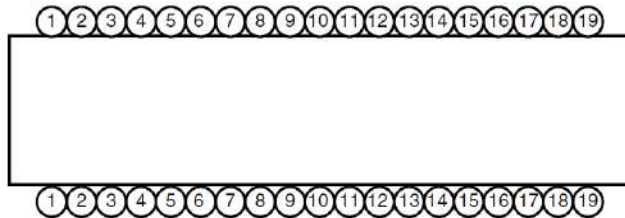
AVVOLGIMENTO
SPIRE SPAZIATE

- Avvolgimenti sovrapposti

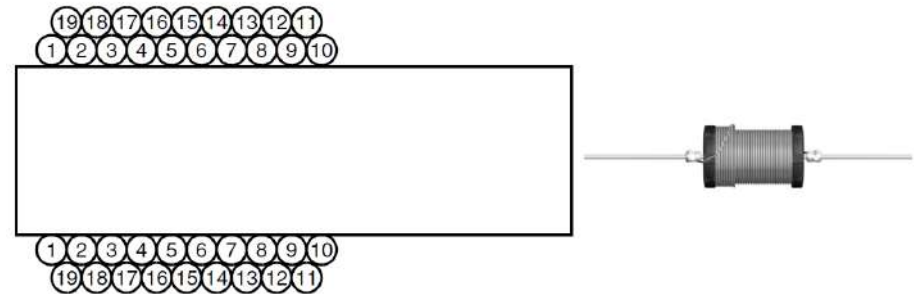


Costruzione delle L

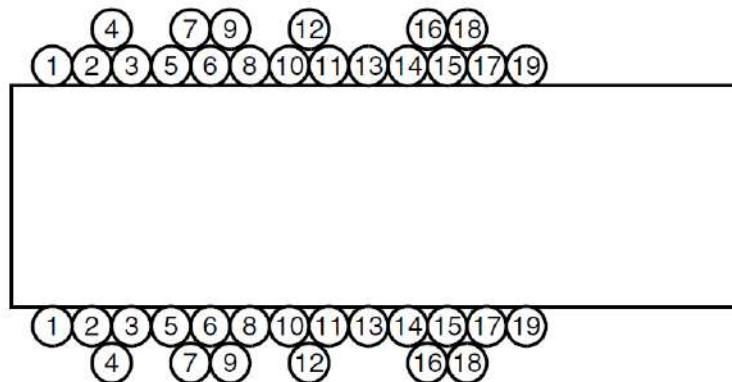
Single-layer winding:



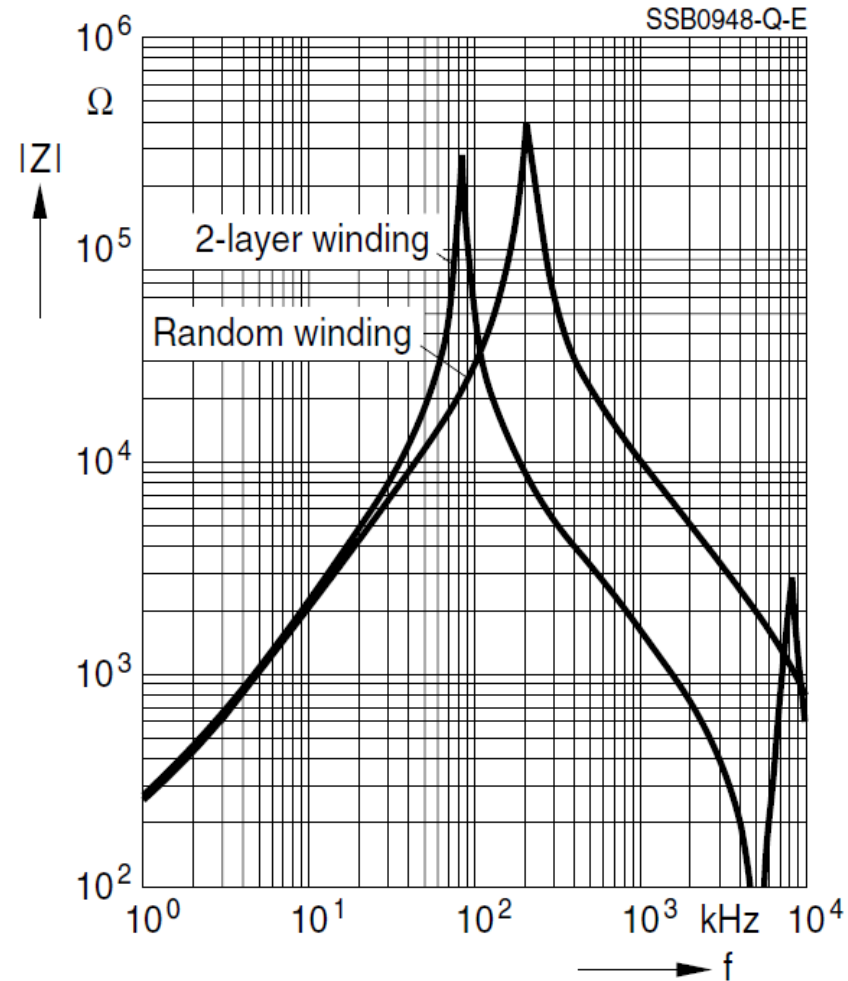
Multilayer winding:



Random winding:



Risposta in frequenza



Conclusioni

- Il Filtro funziona bene fino a certe frequenze, oltre queste «Fisicamente non può andare»!
- Non posso basare la riduzione delle emissioni solo sul Filtro. Devo ricordarmi che alle alte frequenze devo usare

«IL BUON PROGETTO: APPLICARE LE LINEE GUIDA EMC»

Bibliografia (cont)

- Common Mode Filter Design Guide – Coilcraft Doc-191-1
www.coilcraft.com
- RF Circuit Design – Chris Bowick
- Catalogo Würth
- Inductors General technical information TDK
www.tdk-electronics.tdk.com/download/531382/3c79b910253035d31f597fcd60b5a919/pdf-generaltechnicalinformation.pdf
- AN 10912 NXP
<http://www.farnell.com/datasheets/1760780.pdf>
- Filter-Design_Ch10slides
http://ece.colorado.edu/~ecen5807/course_material/Ch10slides.pdf
- EMI-Filters-Demystified-Presentation_Final (William R. “Bill” Limburg - February 21, 2018 - Phoenix Chapter, IEEE EMC Society)
- Henry W. Ott – Electromagnetic Compatibility Engineer
- H. Ott - PCB Guidelines
http://www.hottconsultants.com/pdf_files/pcb_guide.pdf

Ringraziamenti

- Ai Prof.ri Pozzolo e Maio ed al Sig. Ormezzano per l'uso di alcuni loro lucidi usati in seminari EMC e SI ed avere avuto la fortuna di lavorare al loro fianco.
- Nella vita umana e professionale avere buoni compagni di cammino è fondamentale.

GRAZIE

Ai miei collaboratori

A voi tutti per l'attenzione



FINE



EMC
TORINO
27.11.2019
Politecnico di Torino

Day

Automotive, Industriale, Radio:
ambienti e test EMC sono ancora così
scollegati?

CONTESTO QUALCHE ANNO FA' ...

89/336/CE (EMC)



1999/05/CE (R&TTE)

'90



72/245/CEE (Automotive)



CONTESTO OGGI

2014/30/UE (EMC)



2014/53/UE (RED)

2019



Reg. UNECE R10 (Automotive)



CONTESTO OGGI

Industriale



Radio

Automotive

EMC NEL SETTORE AUTOMOBILISTICO



TIPO 1
(Yazaki)
SAE J1772-2009



TIPO 3A
(Scame)



TIPO 2
(Mennekes)
VDE-AR-E 2623-2-2



**CCS
Combo2**



TIPO 3C
(Scame)
EV Plug Alliance

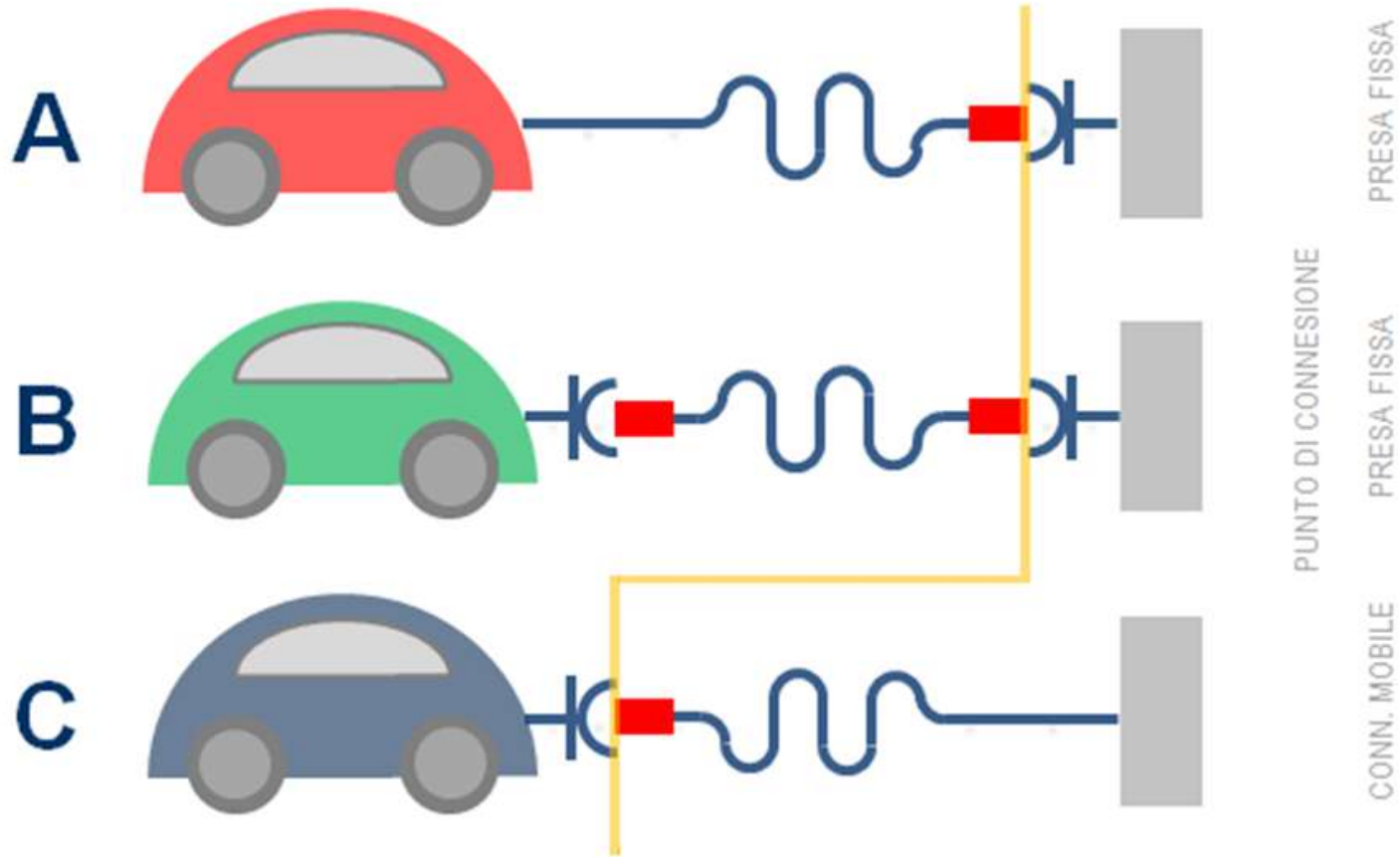


Schuko



EMC NEL SETTORE AUTOMOBILISTICO

tipi di connessione



EMC NEL SETTORE AUTOMOBILISTICO

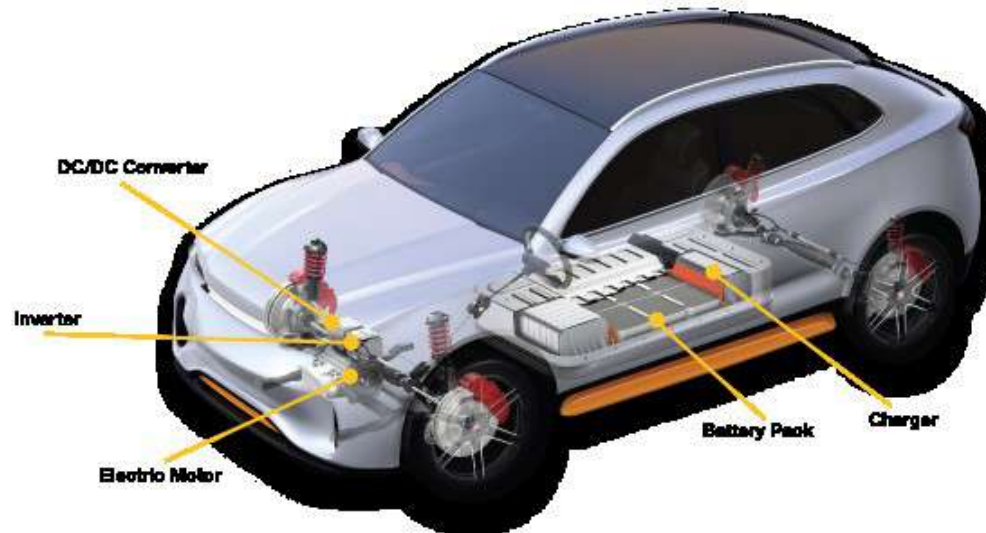
Scopo

- **Prove di Immunità** a perturbazioni irradiate e condotte per funzioni legate al controllo diretto del veicolo, alla protezione del conducente, dei passeggeri e di altri utenti della strada, nonché a perturbazioni che possono confondere il conducente o altri utenti della strada
- Controllo di **emissioni indesiderate**, irradiate e condotte, per tutelare il buon funzionamento degli apparecchi elettrici o elettronici nel veicolo in questione e in quelli adiacenti o vicini e al controllo di perturbazioni emesse da accessori che possono essere montati sul veicolo successivamente.
- Requisiti aggiuntivi per veicoli e loro componenti provvisti di sistemi di ricarica dell'energia elettrica in merito al controllo delle emissioni e dell'immunità relativamente alla connessione tra veicolo e rete elettrica.

EMC NEL SETTORE AUTOMOBILISTICO

Scopo

- I differenti veicoli a guida elettrica, come ibrido, ibrido plug-in, i veicoli 100 % elettrici , richiedono l'uso di sistemi ad alta tensione (HV system) costituiti da diversi componenti ad alta tensione , che si aggiungono a quelli funzionanti a bassa tensione (LV System).
- Specifiche e requisiti addizionali si applicano di conseguenza ai componenti HV destinati a funzionare in circuiti ad alta tensione di sistemi di azionamento elettrici nei veicoli.



EMC NEL SETTORE AUTOMOBILISTICO

Scopo

- La connessione con il « mondo industriale e residenziale » ha ulteriormente aggiunto requisiti specifici
- Verificare la capacità di un sistema di funzionare in modo soddisfacente nel proprio ambiente elettromagnetico senza introdurre disturbi intollerabili.



EMC NEL SETTORE AUTOMOBILISTICO

Standards

- **Regulation UNECE R10 rev 5 + Amd.1**

- Omologazione dei Veicoli a ruote, apparati e componenti che possono essere montati e/o utilizzati a bordo dei veicoli

- **Serie ISO 7637**

- In riferimento ai transitori e alle cadute di tensione accoppiate sulle linee della batteria e linee di segnale

- **Standard Internazionali e Capitolati specifici Produttori di veicoli**

In riferimento alle condizioni di funzionamento normali, anomali ed ai relativi metodi di prova

- organizzazioni (ISO, SAE)
- Produttori (BMW - GS 95023; Volkswagen - VW 80303; Mercedes - MBN LV 123 ...)

EMC NEL SETTORE AUTOMOBILISTICO

Requisiti Comuni

Requisiti/Metodi di Prova	Intero Veicolo	Componenti / unità elettriche ed elettroniche
BCI	√	√
Stipline		√
Immunità Radiata(ALSE)	√	√
Emissione Radiata(ALSE)	√	√
Immunità Condotta	√	√
Emissione Condotta	√	√
Immunità Transitorie		√
Emissioni Transitorie		√
ESD	√	√

EMC NEL SETTORE AUTOMOBILISTICO

Requisiti Aggiuntivi (REESS)

Requisiti/Metodi di Prova	Intero Veicolo (charging mode)	Componenti / unità elettriche ed elettroniche
BCI	√	√
Stipline		√
Immunità Radiata(ALSE)	√	√
Emissione Radiata(ALSE)	√	√
Immunità Condotta	√	√
Emissione Condotta	√	√
Immunità Transitorie		√
Emissioni Transitorie		√
ESD	√	√
Misura Correnti armoniche	√	
Misura Variazione Tensione e Flicker	√	
Emissione Condotta (Porta AC/DC)	√	
Immunità ai transitori di rete (BURST, SURGE, PQT)	√	
Immunità ai transitori sulla linea di alimentazione		√

EMC NEL SETTORE AUTOMOBILISTICO

Standards

IEC 61851 series
IEC 62752 +Amd 1

Electric vehicle
conductive charging
system

IEC 62196 series

Plugs, Socket Outlets,
Vehicle Connectors, and
Vehicle Inlets

IEC 62660 series

Secondary lithium-ion
cells for the propulsion
of electric road vehicles



- **IEC 61851-21-1:** Electric vehicle on-board charger EMC requirements for conductive connection to AC/DC supply
- **IEC 61851-21-2:** Electric vehicle requirements for conductive connection to an AC/DC supply - EMC requirements for off board electric vehicle charging systems

EMC NEL SETTORE AUTOMOBILISTICO

Requisiti di immunità per la ricarica in AC Ambienti diversi da quelli residenziali

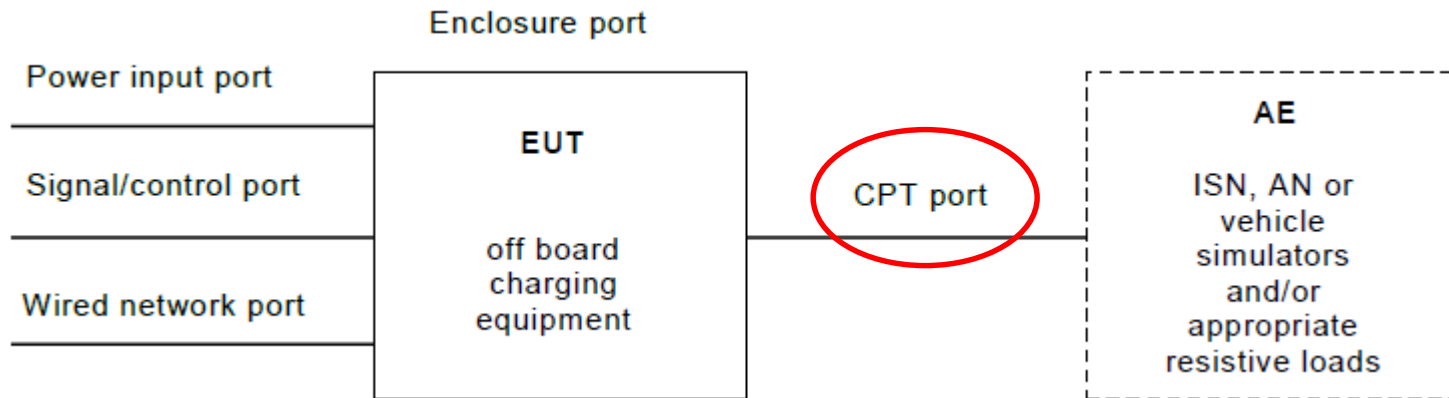
Port	Test applicability	Phenomenon	Basic standard	Test specification	Units	Performance criteria
Enclosure	Waiting and charge mode	Electrostatic discharge (ESD)	IEC 61000-4-2:2008	±4 (contact) ±8 (Air)	kV kV	B
		Radiated RF fields	IEC 61000-4-3:2006 and IEC 61000-4-3:2006/AMD1:2007 and IEC 61000-4-3:2006/AMD2:2010	10 80 to 1000 80	V/m ^{c)} MHz % AM (1 kHz)	A
				3 1,4 to 2 80	V/m ^{c)} GHz % AM (1 kHz)	A
				3 2 to 2,7 80	V/m ^{c)} GHz % AM (1 kHz)	A
		Magnetic fields ¹⁾	IEC 61000-4-8:2009	50, 60 30 (for systems ≤ 32 A) 100 (for systems > 32 A)	Hz A/m A/m	A

EMC NEL SETTORE AUTOMOBILISTICO

Power input (AC) ¹⁾	Waiting and charge mode	Electrical fast transients/ bursts ¹⁾	IEC 61000-4-4:2012	±4 5/50 5	kV Tr/Th, ns repetition frequency, kHz	B
		Voltage surges ¹⁾	IEC 61000-4-5:2014	1,2/50 (8/20) ±4 ^{a)} ±2 ^{b)}	µs kV kV	B
		Conducted RF fields	IEC 61000-4-6:2013	10 0,15 to 80 80	V (RMS) ^{c)} MHz % AM (1 kHz)	A
		Voltage dips and interruptions	IEC 61000-4-11:2004 (≤ 16 A) IEC 61000-4-34:2005 and IEC 61000-4-34:2005/AMD1:2009 (> 16 A)	40 % residual voltage 70 % residual voltage 0 % residual voltage 0 % residual voltage	for 10/12 cycles at 50/60 Hz for 25/30 cycles at 50/60 Hz for 1 cycle at 50/60 Hz for 250/300 cycles at 50/60 Hz	B ^{e)} B ^{e)} B ^{e)} C
Wired network and signal/control	Waiting and charge mode	Electrical fast transients/ bursts ^{9) h)}	IEC 61000-4-4:2012	±2 5/50 5	kV Tr/Th, ns repetition frequency, kHz	B
		Voltage surges ¹⁾	IEC 61000-4-5:2014	1,2/50 (8/20) ±1	µs kV	B
		Conducted RF fields ⁹⁾	IEC 61000-4-6:2013	10 0,15 to 80 80	V (RMS) ^{c)} MHz % AM (1 kHz)	A

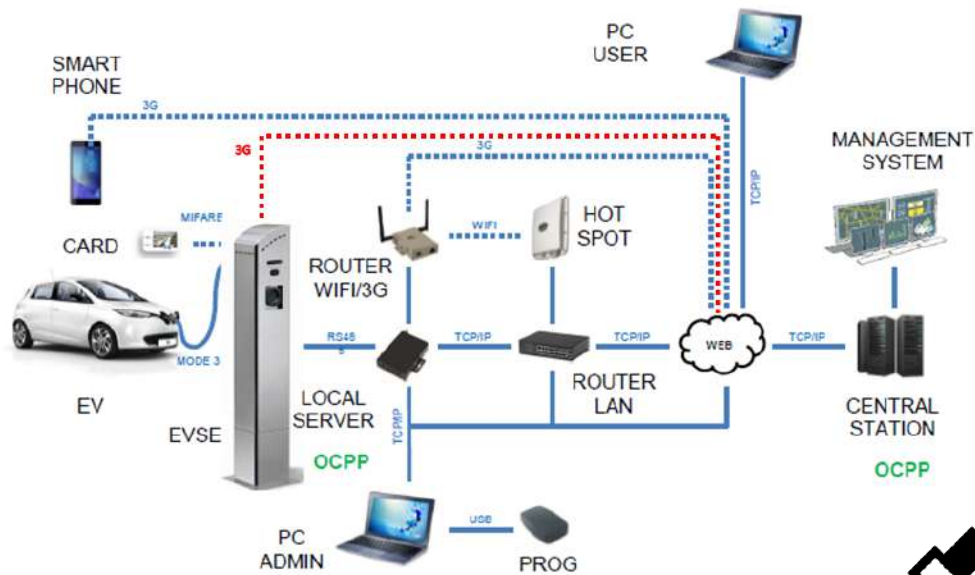
EMC NEL SETTORE AUTOMOBILISTICO

Porte EMC di apparecchiature di ricarica esterne al veicolo



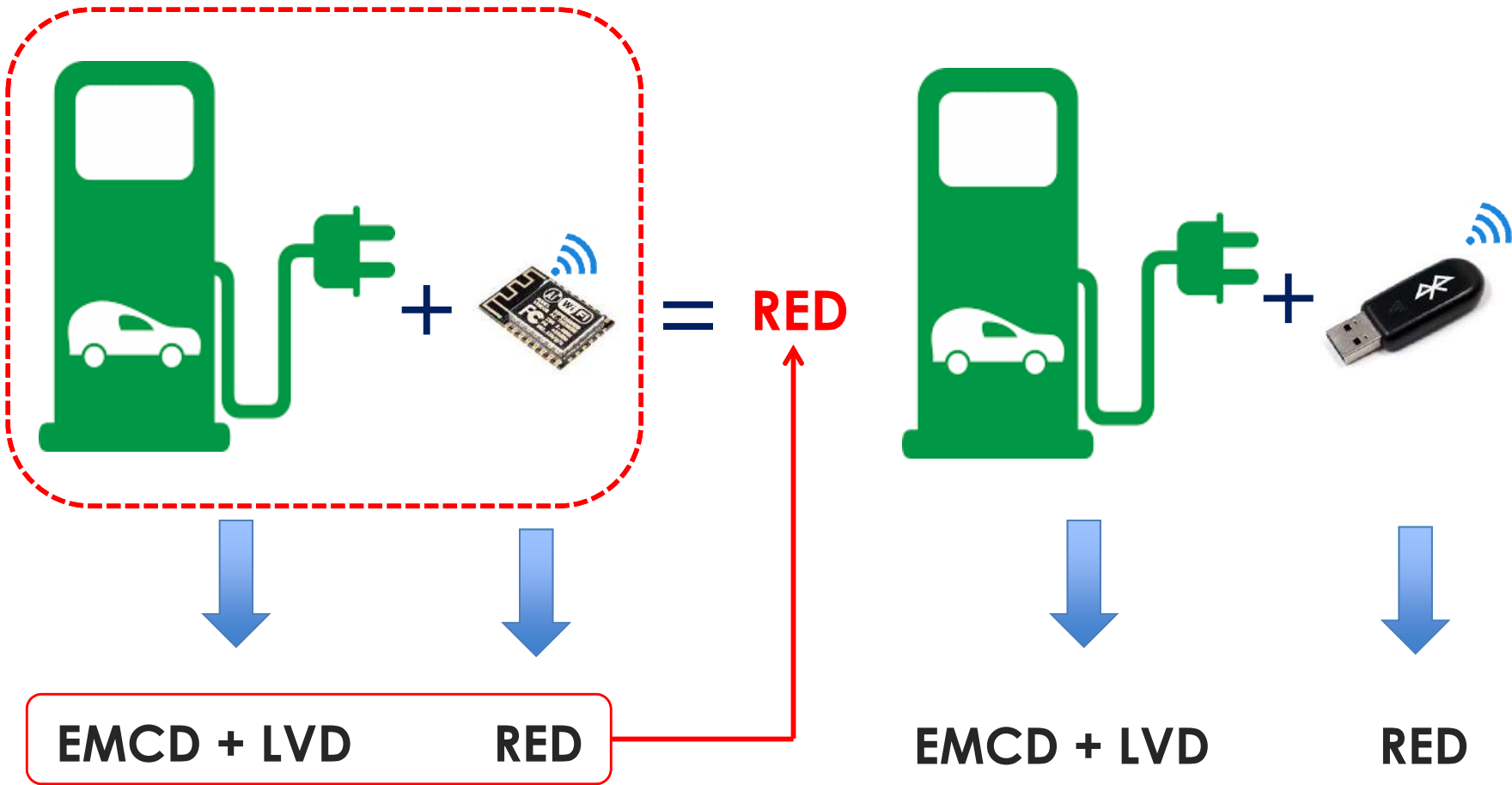
Port	Test applicability	Phenomenon	Basic standard	Test specification	Units	Performance criteria
CPT	Waiting and charge mode	Electrical fast transients/bursts ^{b) n)}	IEC 61000-4-4:2012	±2 5/50 5	kV Tr/Th ns repetition frequency, kHz	B
		Voltage surges ^{a) i) j) k)}	IEC 61000-4-5:2014	1,2/50 (8/20) ±2 ^{a)} ±1 ^{b)}	µs kV kV	B
		Conducted RF fields ^{k)}	IEC 61000-4-6:2013	10 0,15 to 80 80	V (RMS) ^{c)} MHz % AM (1 kHz)	A

RADIONELETTOREAUTOMOBILISTICO



INTEGRAZIONE MODULO RADIO

Prodotto Combinato



RADIONESETTOREAUTOMOBILISTICO

Installazioni fisse

- Installazioni fisse come definite e descritte nella Direttiva EMC, vale a dire che sono apparecchiature uniche costruite nel loro luogo di installazione che non circolano all'interno della UE;
- Installazioni costruite con apparecchiature fabbricate in serie ma fissate in modo permanente durante il loro funzionamento.

Apparecchiature Radio installate nei veicoli

Quando le apparecchiature radio sono installate in veicoli come automobili, roulotte, treni, ecc. , tale apparecchiatura radio deve essere conforme ai requisiti della Direttiva RED e di tutti gli atti UE applicabili.









Il Fabbricante che immette sul mercato dell'UE l'apparecchiatura radio è responsabile della conformità quando l'apparecchiatura radio è installata in conformità alle istruzioni. La valutazione del rischio dell'apparecchiatura radio deve tenere conto dello scopo previsto.

Il Costruttore che installa l'apparecchiatura radio, già immessa sul mercato dell'UE, deve seguire le istruzioni. E sarà considerato il fabbricante dell'apparecchiatura radio quando :

- la conformità è influenzata perché non sono state seguite le istruzioni fornite per l'apparecchiatura radio; o
- la funzione o le prestazioni previste dell'apparecchiatura radio sono state modificate.

RADIONESETTORE AUTOMOBILISTICO

Definizioni/Requisiti

	Automotive Reg 10/ LVD/MSD/ Medical	EMCD	RED	
			Article 3.1(a)	Article 3.1(b)
EM Compatibility				
EM Safety				

RADIONESETTOREAUTOMOBILISTICO

Apparati Combinati

ETSI EN 303 446-1 V1.2.1 (2019-10)



ElectroMagnetic Compatibility (EMC)
standard for combined and/or integrated
radio and non-radio equipment;
Part 1: Requirements for equipment intended to be used
in residential, commercial and light industry locations

ETSI EN 303 446-2 V1.2.1 (2019-10)



ElectroMagnetic Compatibility (EMC)
standard for combined and/or integrated
radio and non-radio equipment;
Part 2: Requirements for equipment
intended to be used in industrial locations

RADIONELETTORIA AUTOMOBILISTICA

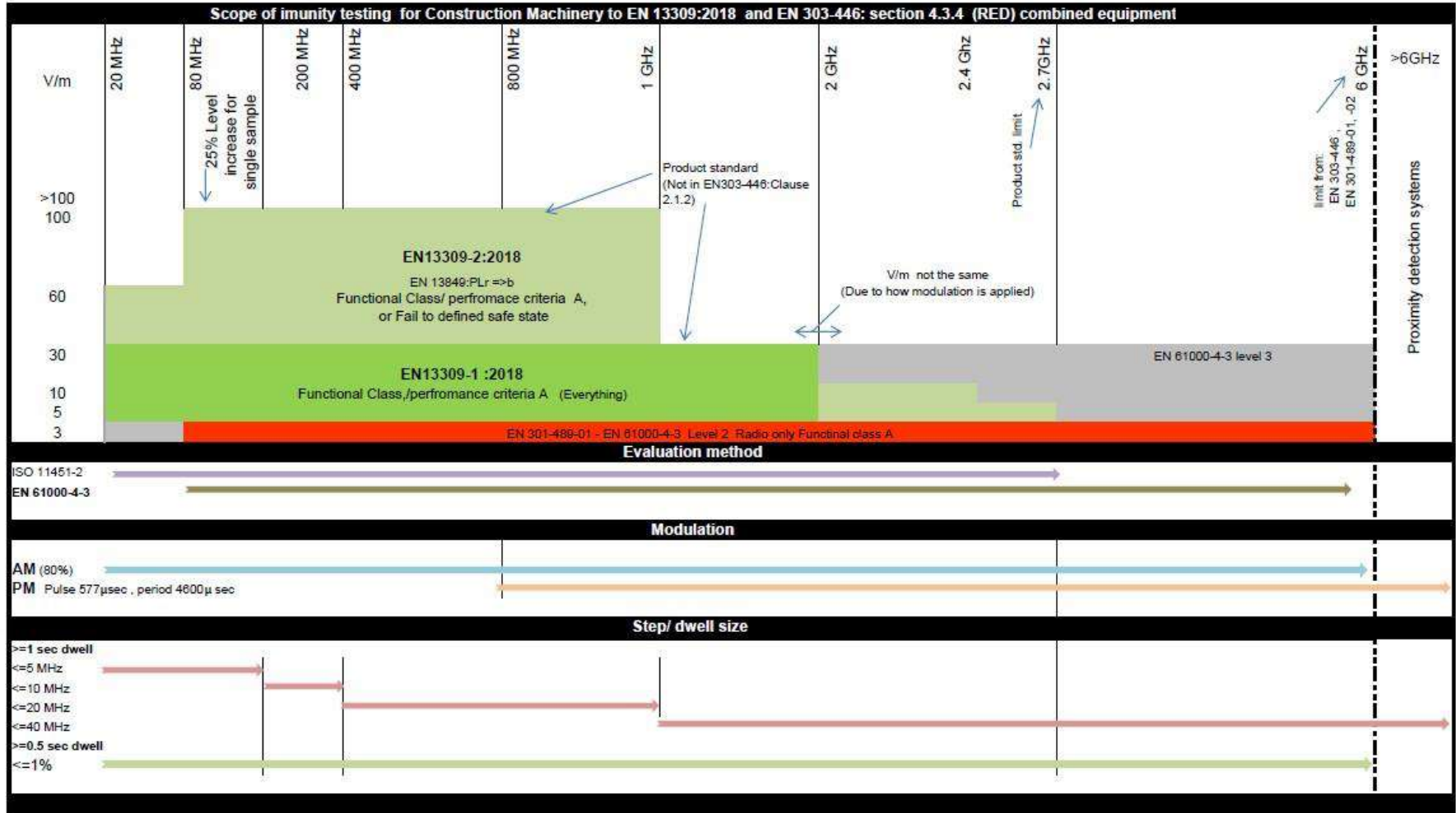
Apparati Combinati - Problematiche

- Diversi standard di base utilizzati
- Diversi problemi /obiettivi(EMC v EMS)
- Difficile combinare gli standard di riferimento in un insieme ibrido di requisiti



RADIONELETTOREAUTOMOBILISTICO

Esempio illustrato del problema



Possibile soluzione proposta

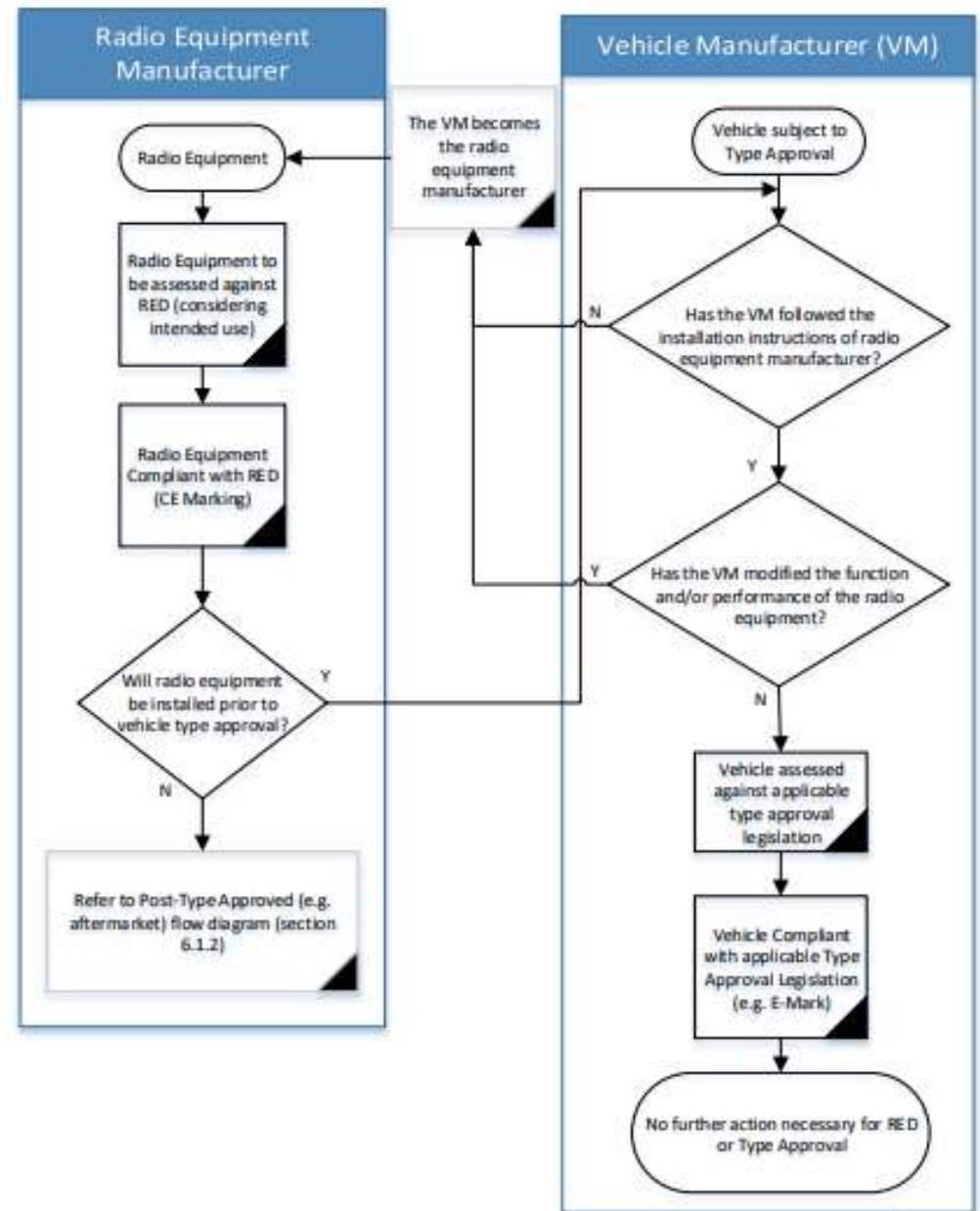
ETSI EN 303 446-3 Vx.x.x (2019-xx)



**ElectroMagnetic Compatibility (EMC)
standard for combined and/or integrated
radio and non-radio equipment;
Part 3: Requirements for equipment intended to be used
in vehicles**

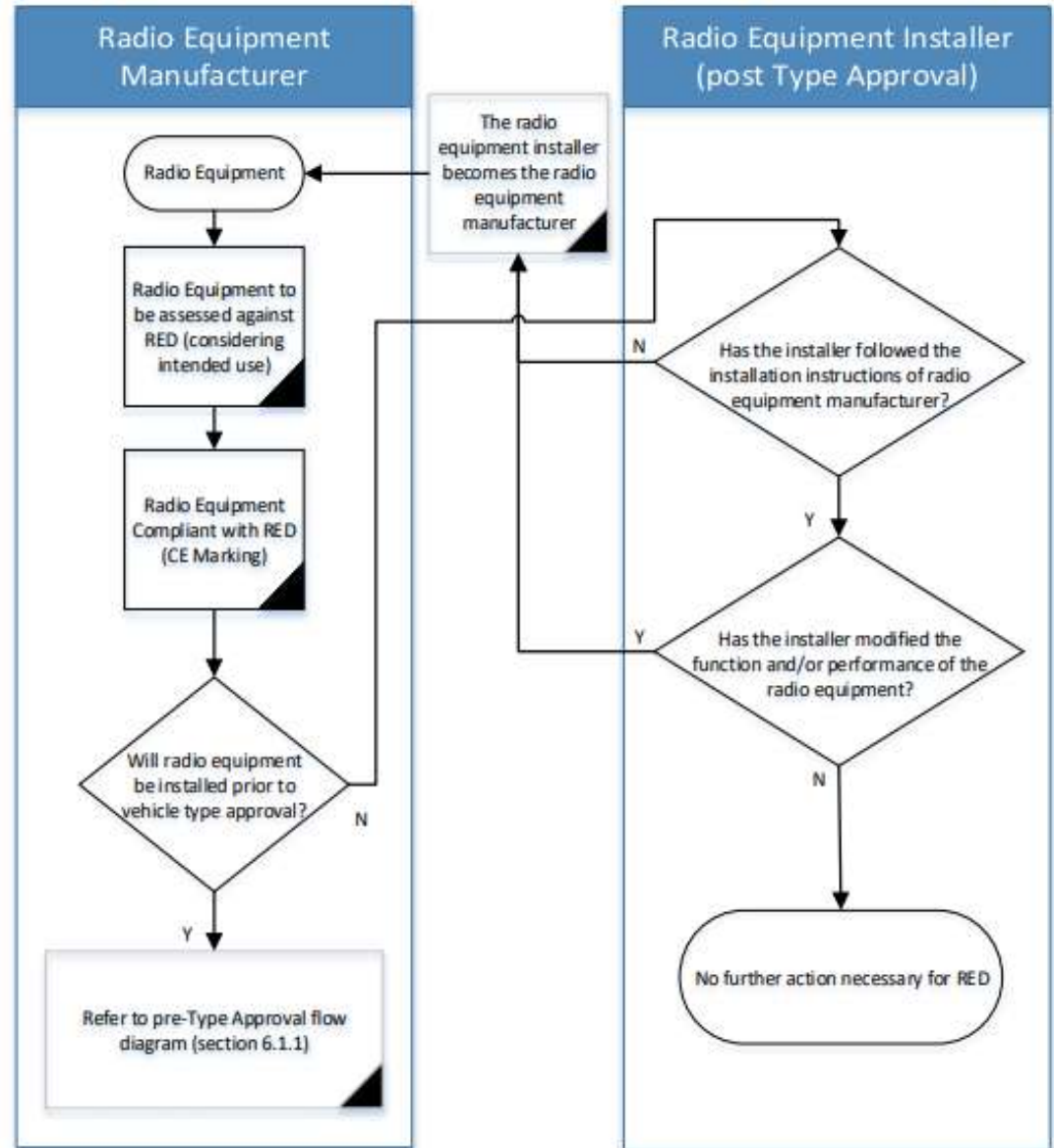
RADIONELETTOREAUTOMOBILISTICO

Veicoli che includono
apparecchiature radio
installate prima
dell'omologazione



RADIONELSETTOREAUTOMOBILISTICO

**Veicoli che includono
apparecchiature radio
installate dopo
dell'omologazione
(post-vendita)**





DARTI CERTEZZE
ECCO IL NOSTRO
IMpegno.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

roberto.colombo@imq.it

*Product Division Project Management & Certification Area
Radio Equipment Project Manager*



POLITECNICO
DI TORINO

INVITANO AL
WORKSHOP



EMC
TORINO
27.11.2019
Politecnico di Torino
ay

Metodologie e soluzioni per la schermatura magnetica in ambito civile ed industriale

Prof. Aldo Canova

Politecnico di Torino, Dipartimento Energia «Galileo Ferraris»,

Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino

e-mail: aldo.canova@polito.it



POLITECNICO
DI TORINO

Tematiche

- Campo, grandezze di campo e spettro elettromagnetico
- Modelli di interazione ed effetti sulla salute umana
- Legislazione
- Protezione popolazione, lavoratori professionalmente esposti e non professionalmente esposti
- Sorgenti elettriche e magnetiche in bassa frequenza
- Sistemi di schermatura
- Conclusioni

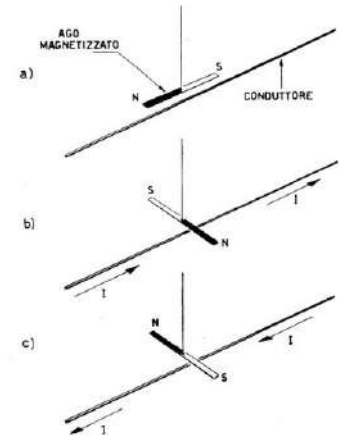
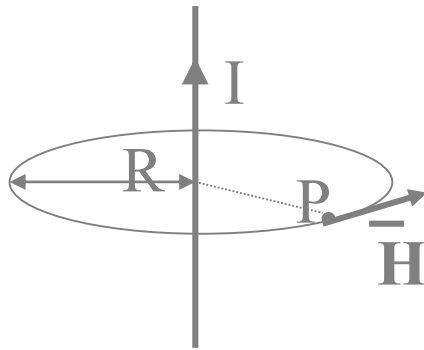
Il Campo Magnetico

- Il **campo magnetico** è una regione di spazio in cui certe particelle denominate **dipoli magnetici** (es. ago della bussola) sono sottoposte a **coppie di forze** che tendono a farle ruotare
- Il campo magnetico è a sua volta generato dalla presenza di dipoli magnetici (magneti permanenti) o da **correnti elettriche**

Campo Magnetico: conduttore rettilineo indefinito

- Il **campo magnetico H** in un punto P prodotto da conduttore filiforme (es. conduttore di una linea aerea od in cavo) percorso da una corrente pari ad **I** è dato dalla relazione:

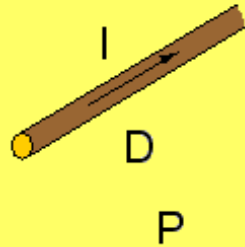
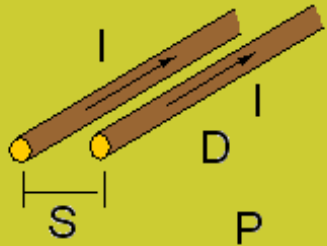
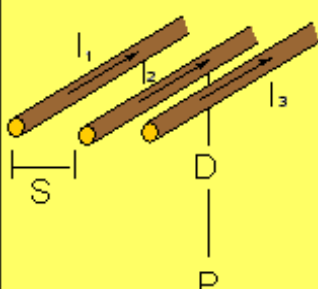
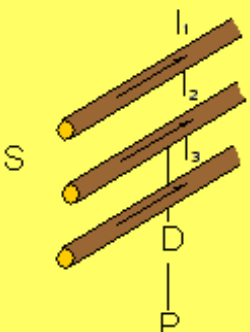
$$H = \frac{I}{2\pi R}$$



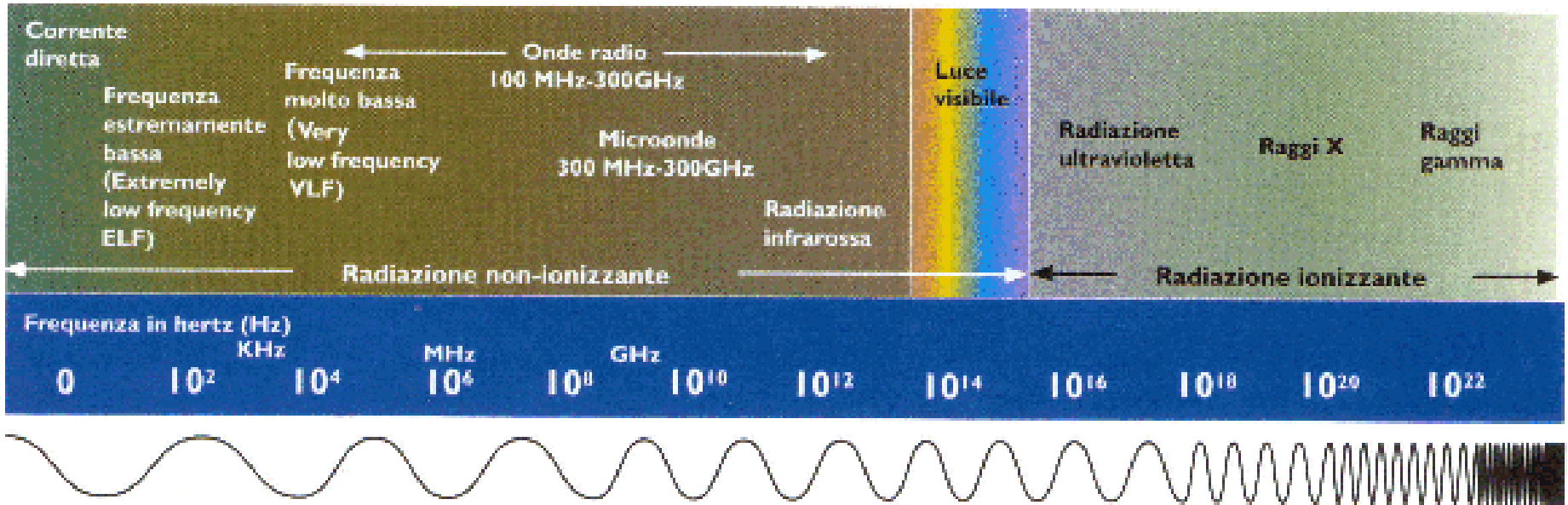
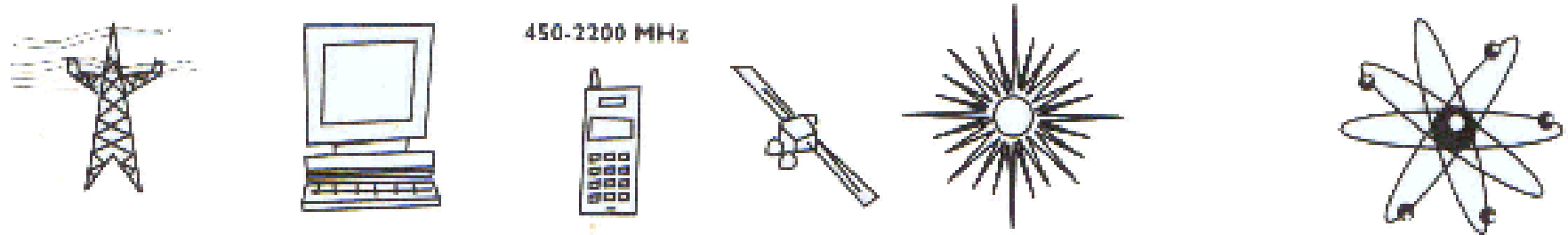
EFFETTO MAGNETICO DELLA CORRENTE ELETTRICA

- L'unità di misura è **A/m**
- Al campo magnetico è associata una grandezza, detta induzione magnetica **B**, che dipende dal materiale in cui il campo è presente. $B = \mu H$ μ permeabilità magnetica
- L'unità di misura è **Tesla (T)**

Campo Magnetico: decadimento con la distanza

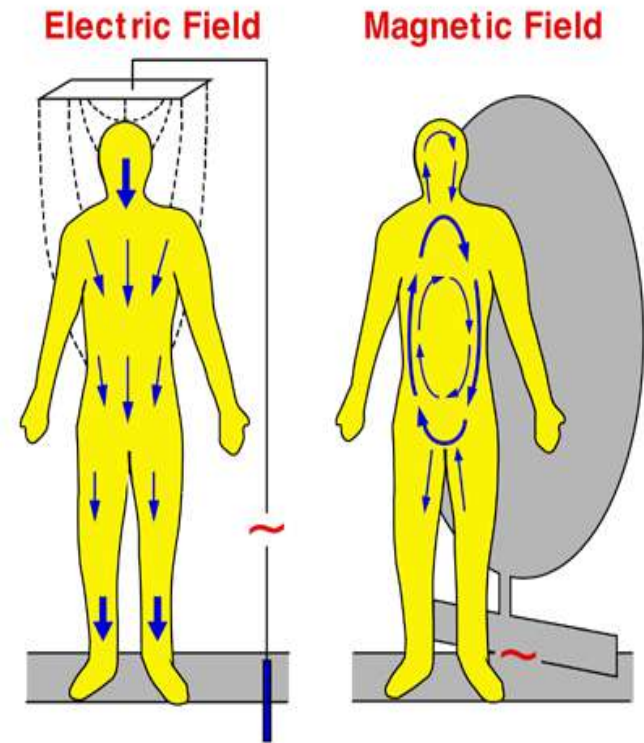
<p>Linea unifilare</p> 		<p>Linea bifilare</p> 	
$H_p \text{ (A/m)} = I 2 \pi D$	$B_p \text{ (\mu T)} = \frac{1}{5} \times I/D$	$H_p \text{ (A/m)} = I/2 \pi D \times S/D$	$B_p \text{ (\mu T)} = \frac{1}{5} \times I/D \times S/D$
<p>conduttori in piano</p> 		<p>conduttori in verticale</p> 	
$B_p \text{ (\mu T)} = 0,346 \times I/D \times S/D$		$B_p \text{ (\mu T)} = 0,245 \times I/D \times S/D$	

Spettro elettromagnetico



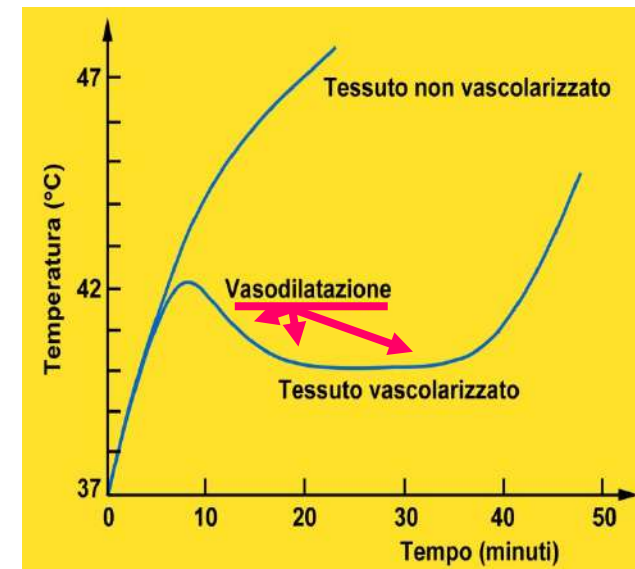
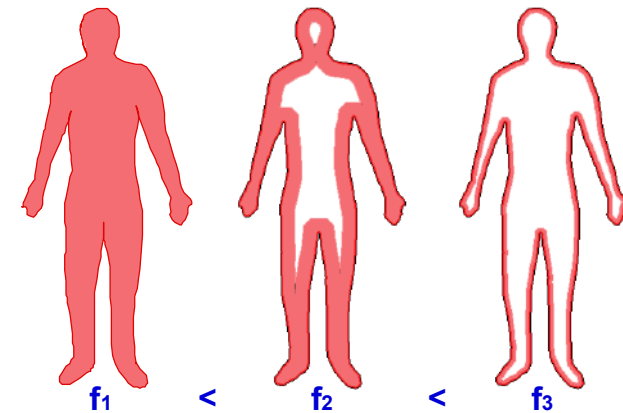
Interazione campo-organismo in bassa frequenza

- I campi elettromagnetici ambientali in bassa frequenza danno origine a **correnti e campi elettrici indotti** in corpi conduttori
- Il corpo umano è estremamente ricco di cariche libere ed il funzionamento di diverse attività fisiologiche, come la contrazione dei muscoli e del cuore, la trasmissione degli stimoli nervosi e molte altre è assicurato proprio da **correnti e da campi elettrici endogeni**.
- Nel caso di esposizione a campi a bassa frequenza le grandezze elettriche indotte, cioè la **densità di corrente A/m^2** (2004/40/CE) e il **campo elettrico** (2013/35/UE), vengono quindi scelte come **quantità dosimetriche di base** alle quali porre delle restrizioni di tipo protezionistico. Tali grandezze possono quindi essere facilmente confrontate con i normali valori endogeni per valutare il loro potenziale rischio.



Interazione campo-organismo in alta frequenza

- Con l'aumentare della frequenza diventa prevalente l'**assorbimento di energia (SAR)** nei tessuti attraverso il rapido movimento oscillatorio di ioni e molecole di acqua e a frequenze superiori a circa 10 MHz questo effetto è l'unico a permanere
- Al di sopra di 10 GHz l'assorbimento è esclusivamente superficiale
- L'organismo, a differenza di quanto avviene per le BF, opera una certa difesa attraverso la **termoregolazione** per smaltire verso l'esterno il calore in eccesso.
- Per questo motivo gli **organi poco vascolarizzati**, come il cristallino e le gonadi, non disponendo di un efficace sistema di dispersione del calore, saranno quelli maggiormente suscettibili ad un riscaldamento eccessivo.



Possibili effetti sulla salute

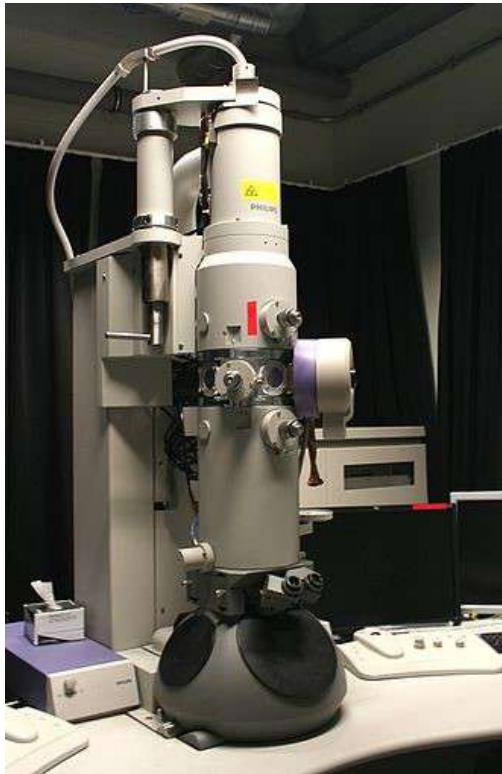
- Negli ultimi decenni la comunità scientifica ha cominciato a studiare i possibili effetti nocivi dei campi elettromagnetici di lungo periodo (**effetti cronici**), distinguendoli dagli effetti sanitari acuti, o di breve periodo.
- Gli effetti cronici possono manifestarsi, anche **dopo lunghi periodi di latenza**, come conseguenza di esposizioni a livelli bassi di campo elettromagnetico per periodi prolungati (situazione caratteristica degli ambienti di vita). Questi effetti hanno una **natura probabilistica**, cioè con l'aumento dell'esposizione, aumenta la possibilità di contrarre un danno, ma rimane invariata la gravità di tale danno.
- Gli effetti cronici sono stati analizzati attraverso numerose indagini **epidemiologiche**. Attualmente mancano studi universalmente accettati dalla comunità scientifica; tuttavia i maggiori organismi scientifici nazionali ed internazionali concordano nel ritenere che, allo stato attuale delle conoscenze, possa esistere una **debole** correlazione tra l'esposizione a campi elettromagnetici e cancro, limitatamente alle frequenze estremamente basse (ELF).

Possibili effetti sulla salute

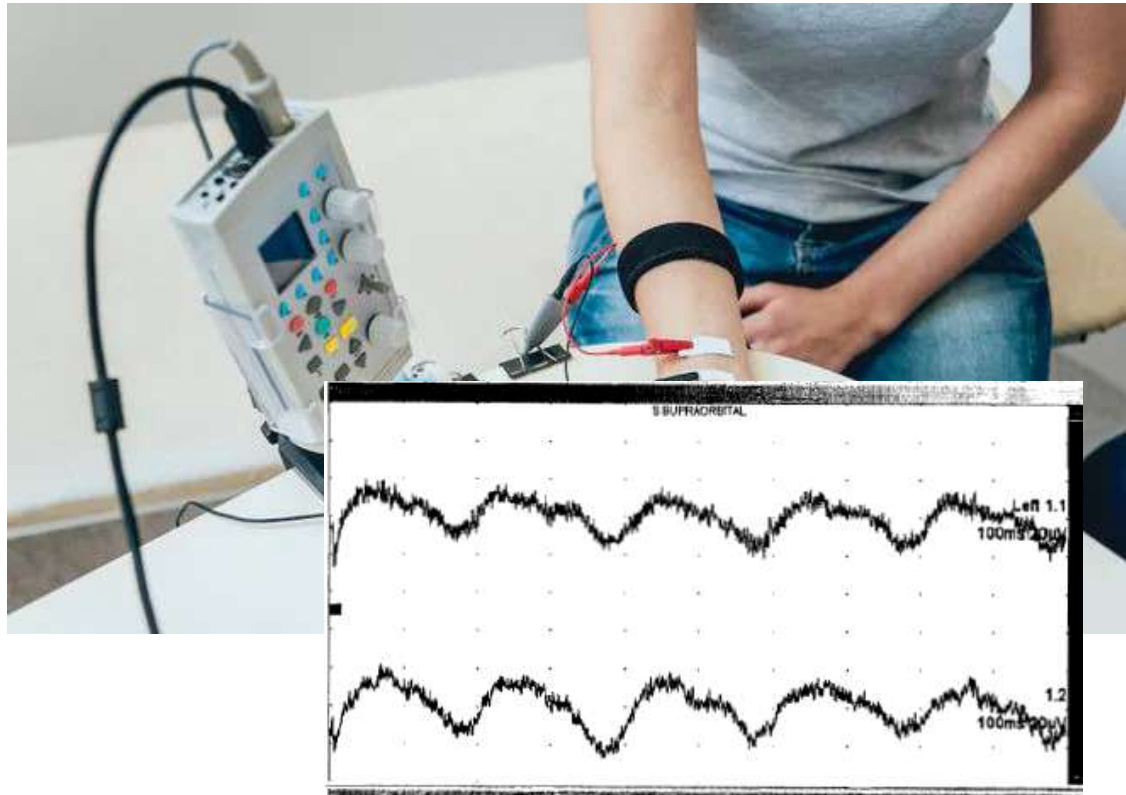
- Il National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS USA) ha valutato i campi ELF come **possibili cancerogeni per l'uomo** (classe III), in base alla 5 categorie indicate dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) che ha classificato gli agenti potenzialmente cancerogeni.
- Le 5 categorie IARC sono:
 - Probabilmente non cancerogeno (classe V)
 - Non classificabile come cancerogeno (classe IV)
 - Possibile cancerogeno (classe III)
 - Probabile cancerogeno (classe II)
 - Cancerogeno (classe I)

Interazione con apparecchiature sensibili

Microscopi Elettronici (SEM-TEM)
100 nT o 50 nT (a 50 Hz)



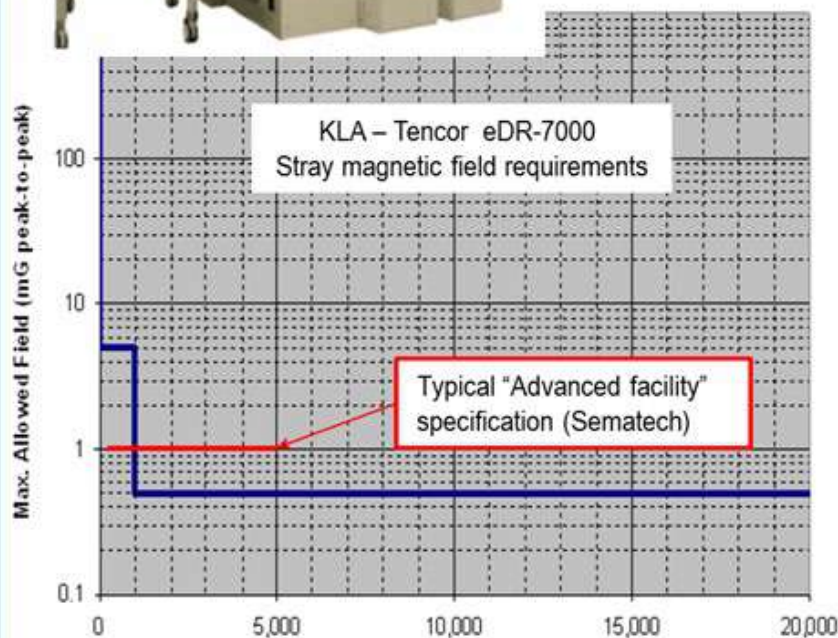
Apparecchiature elettromedicali (es.
Elettromiografo)
Sensibilità disturbo a 2 kHz



Interazione con apparecchiature sensibili

EMI Specifications Example Advanced SEM Defect Review

- KLA – Tencor Advanced SEM eDR-7000



Stray Magnetic Fields AC (measured at center of pad, 1.2m above floor)

0.01 Hz - 1 KHz = ≤ 5 mG pk to pk (requires EMI cancellation system if > 5 mG pk to pk)

1 KHz - 20kHz = ≤ 0.5 mG pk to pk (requires EMI cancellation system if > 0.5 mG pk to pk)

Stray Magnetic Fields DC (measured at center of pad, 1.2m above floor)

DC Field level < 0.7 G (must be stable to within ± 50 mG over 3 months)



When measuring components for EM radiation, take readings in all three (X, Y, and Z) axes.

Legislazione su campi elettrici e magnetici: protezione popolazione

- DM del 21/3/1988
- DM del 16/1/1991
- DPCM del 23/4/1992 e DPCM 28/9/1995
- **Legge 36 del 22/2/2001**
 - **DPCM 8/7/2003 (GU n. 200 del 29/08/2003)**
- Raccomandazione CEE 12 Luglio 1999 – Linee guida ICNIRP
- Decreto Ministeriale (160) del 29/05/2008 “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti”
- Decreto Ministeriale (153) del 29/05/2008 “Approvazione delle procedura di misura e valutazione dell’induzione magnetica” – Procedura di misura e di valutazione del valore di induzione magnetica utile ai fini della verifica del non superamento del valore di attenzione e dell’obiettivo di qualità

- Articolo 4 (obiettivi di qualità)
 - 1. Nella progettazione di **nuovi elettrodotti** in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a **permanenze non inferiori a quattro ore** e nella **progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree** di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di **3 μ T** per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

Quali sono le esposizioni di carattere profes

Sono esposizioni “di carattere professionale” quelle strettamente correlate e necessarie alla finalità del processo produttivo.

Legge Quadro 36/2001

Art.2, c.1, lett.f – definisce esposizione professionale “...*ogni tipo di esposizione dei lavoratori e delle lavoratrici che, per la loro specifica attività lavorativa, sono esposti a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici*”

DIRETTIVA 2013/35/EU

- Il 26 giugno 2013 è stata approvata la nuova DIRETTIVA 2013/35/EU DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) che ha **abrogato la direttiva 2004/40/CE** a decorrere dal 29 giugno 2013.
- DIRETTIVA 2013/35/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 26 giugno 2013 sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici)
- **DECRETO LEGISLATIVO 1 agosto 2016, n. 159: Attuazione della direttiva 2013/35/UE sulle disposizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) e che abroga la direttiva 2004/40/CE. (16G00172)**

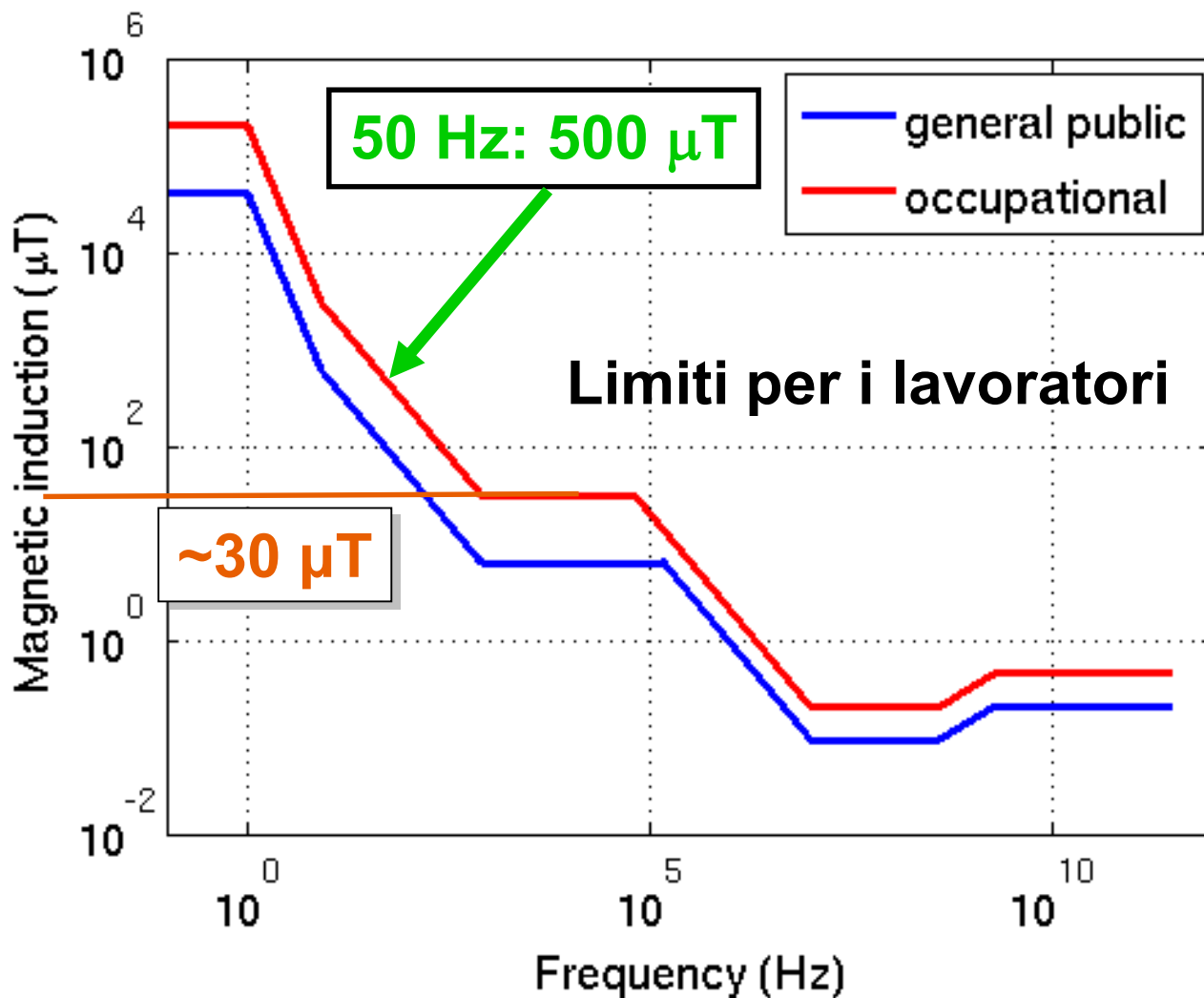
Principi della Direttiva

- Dopo le direttive:
 - direttiva sulle vibrazioni (2002/44/CE)
 - direttiva sul rumore (2003/10/CE)
 - Prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici campi elettromagnetici (diciottesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE)
- Punti fondamentali:
 - protezione dagli **effetti considerati accertati** (non riguarda ipotizzati effetti a lungo termine)
 - linee guida **ICNIRP 2010** quale riferimento tecnico-scientifico per la definizione dei limiti di esposizione (Raccomandazione sulla protezione della popolazione del luglio 1999)
 - a differenza della Raccomandazione la direttiva affronta il merito degli **obblighi datori di lavoro**, dei provvedimenti per ridurre l'esposizione, e della sorveglianza sanitaria

Principi della Direttiva

- Il datore di lavoro deve in primo luogo **valutare** e, se necessario, **misurare e calcolare** i livelli di campo elettromagnetico a cui i lavoratori sono esposti, e se su tale base **i valori di azione risultano superati**, si deve stabilire e, se necessario, calcolare se vengono superati i limiti di esposizione;
- al di **sotto dei valori di azione** non è necessario intraprendere alcuna iniziativa;
- ove questi siano **superati**, l'azione è quella di verificare se sono superati o **rispettati i limiti di esposizione**
- *le valutazioni dosimetriche sono notevolmente complesse e richiedono metodi di calcolo molto sofisticati*

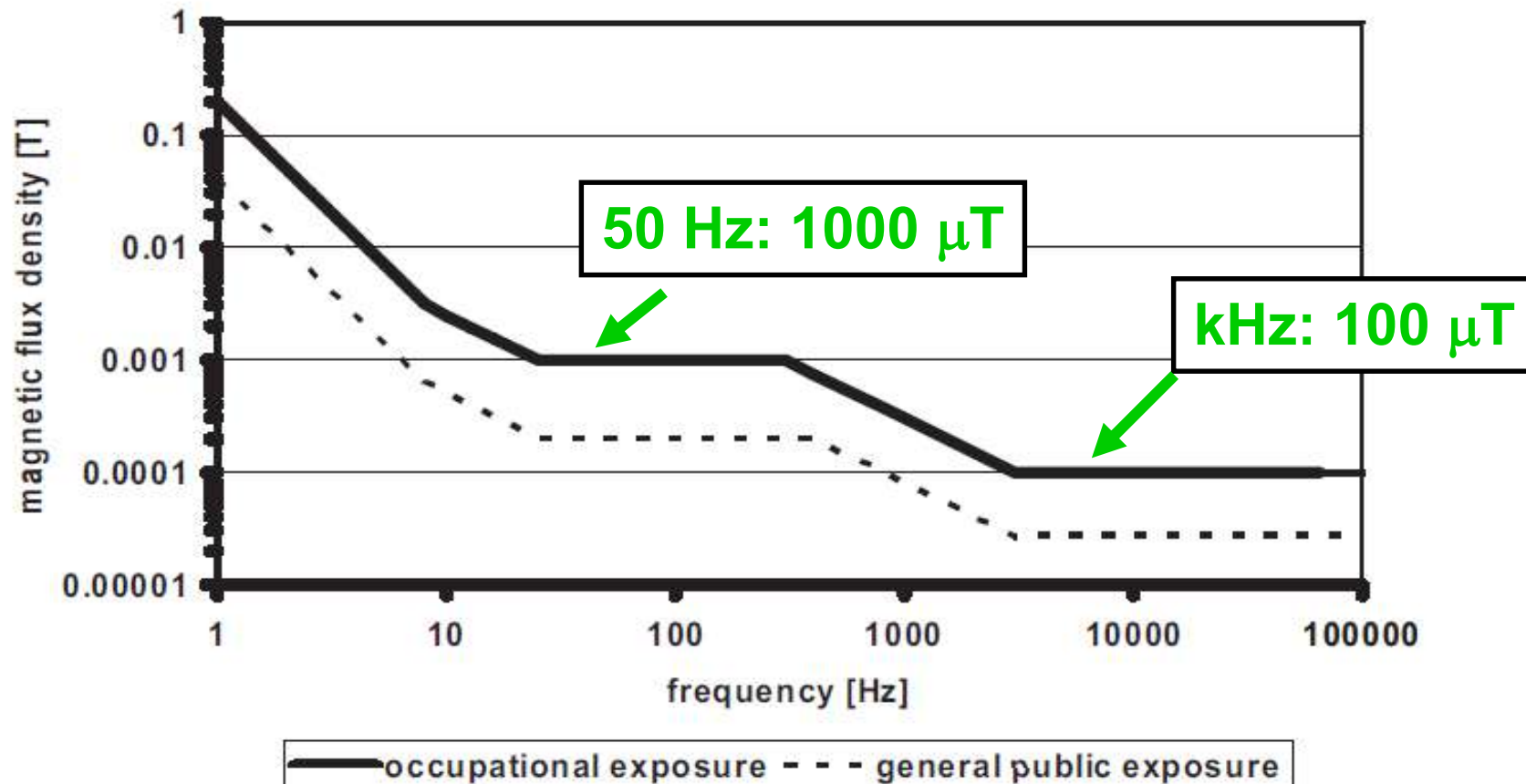
Livelli di riferimento ICNIRP 1998



Livelli di riferimento ICNIRP 2010

Health Physics

December 2010, Volume 99, Number 6



SORGENTI: conformità e non conformità a priori

Si definisce situazione “**giustificabile**” una condizione che può avvalersi di questa più semplice modalità di valutazione del rischio nella quale la condizione espositiva non comporta apprezzabili rischi per la salute.

Ai fini di questa definizione si reputano in primo luogo non comportare rischi per la salute le esposizioni inferiori ai livelli di riferimento per la popolazione di cui alla **raccomandazione europea 1999/519/CE**.

In linea con questa definizione sono condizioni espositive giustificabili quelle elencate nella norma **CENELEC EN 50499 (CEI 106-23)**

CEI 106-23 – non conformità a priori

Tabella 2 – Esempi di apparecchiature suscettibili di necessitare di ulteriore valutazione

Voce	Tipo di apparecchiatura	Note
T.2.1	Elettrolisi industriale	Sia i tipi in c.a. che in c.c.
T.2.2	Saldatura e fusione elettrica	
T.2.3	Riscaldamento a induzione	
T.2.4	Riscaldamento dielettrico	
T.2.5	Saldatura dielettrica	
T.2.6	Magnetizzatori/smagnetizzatori industriali	Compresi i dispositivi per la cancellazione in blocco di nastri magnetici.
T.2.7	Apparecchi di illuminazione speciali attivati con RF	
T.2.8	Dispositivi al plasma in RF	Compresa la deposizione sotto vuoto e la polverizzazione catodica.
T.2.9	Diatermia	Tutte le apparecchiature per trattamenti medici che utilizzano sorgenti RF di elevata potenza (> 100 mW) mediata nel tempo
T.2.10	Sistemi elettrici di controllo di integrità	

UNI EN 12198

Zona 0 = zona in cui i livelli di esposizione rispettano i limiti nazionali per la popolazione, oppure in cui tutte le sorgenti sono tra quelle giustificabili a priori.

Zona 1 = zona in cui i livelli di esposizione possono superare i limiti nazionali per la popolazione, ma rispettano il limite occupazionale

Zona 2 = zona in cui i livelli di esposizione possono superare i limiti occupazionali. Se è possibile l'accesso a questa zona, allora dovranno essere messe in atto misure per ridurre l'esposizione o limitare l'accesso.

Categoria	Livelli emissione	Restrizioni e misure protettive	Informazione e addestramento
0	< livello di riferimento per la popolazione	Nessuna	Nessuna
1	> livelli di riferimento per la popolazione in base alla Raccomandazione Europea 1999/519/CE	Possono rendersi necessarie limitazioni di accesso e misure di protezione	Informazione su pericoli, rischi ed effetti indiretti
2	> <u>livelli di azione</u> posti nel D.Lgl. 81/2008 - Titolo VIII - Capo IV	Restrizioni speciali e misure di protezione obbligatorie	Come sopra, in aggiunta si rende necessario l'addestramento



Emissione di campo magnetico
Categoria 1
(EN 12198)



Emissione elettromagnetica
Categoria 2
(EN 12198)

Sorgenti in bassa Frequenza

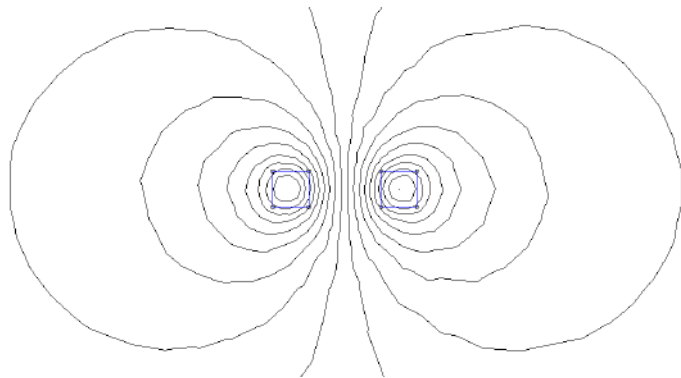


Trasporto

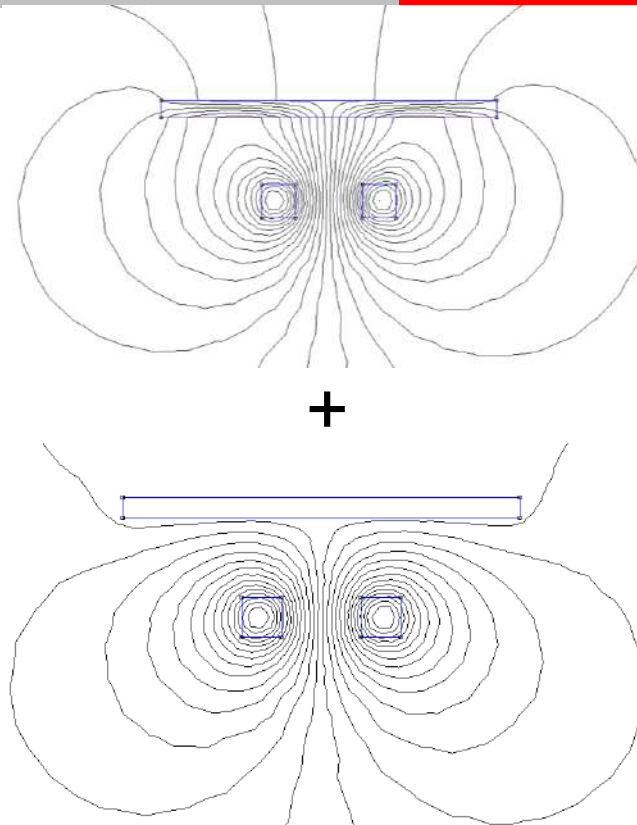


Distribuzione

Soluzioni di Schermatura in bassa Frequenza



Campo magnetico prodotto da una spira in assenza di schermo



Schermo Ferromagnetico

Schermo Conduttivo

L'associazione fra materiali ad alta permeabilità e conduttività, producono un doppio effetto sull'assorbimento dei campi elettromagnetici, riducendo al minimo il campo magnetico residuo con l'effetto corrente parassita che annulla e trattiene il campo.

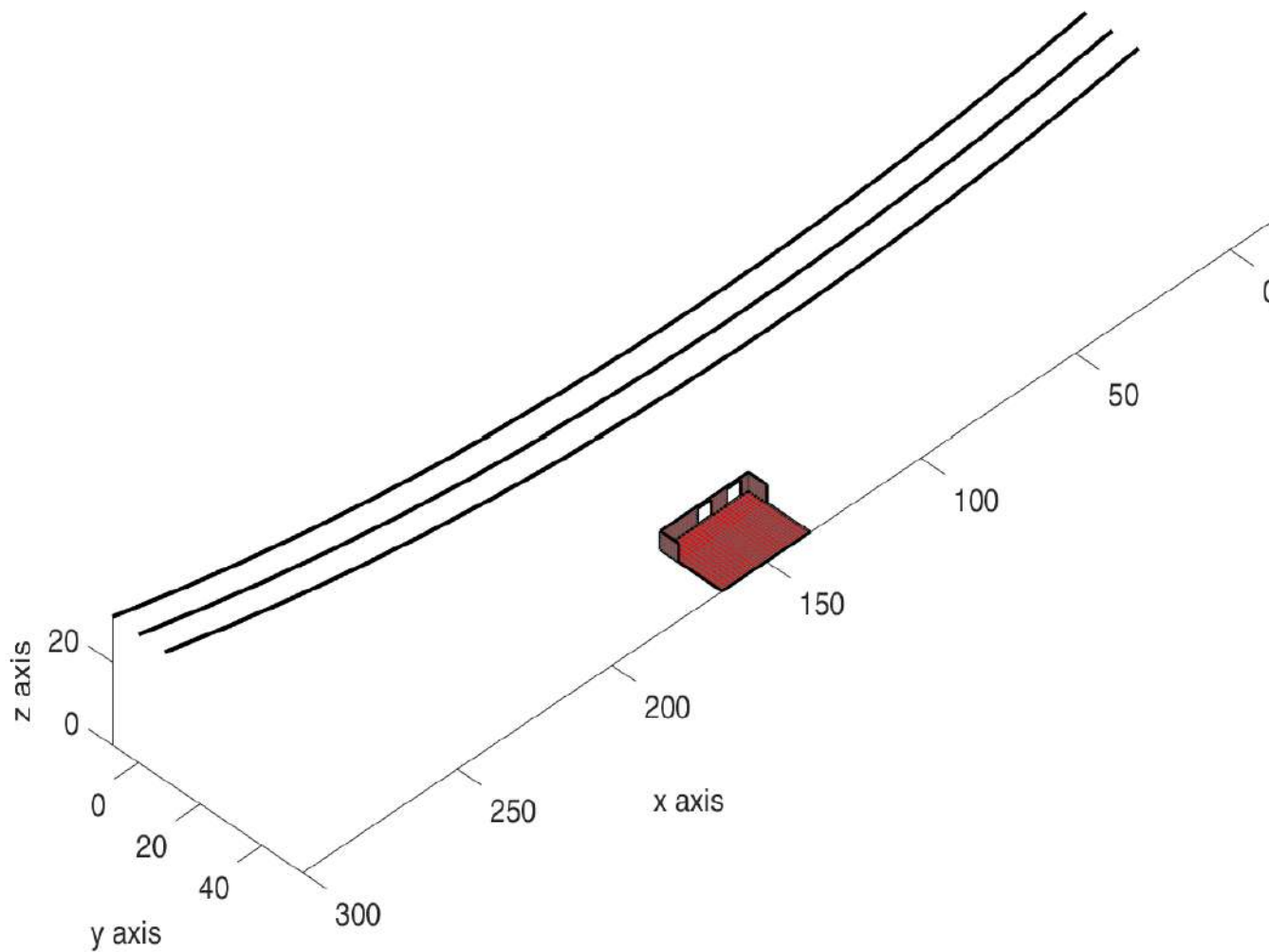
Linea Alta Tensione e schermatura



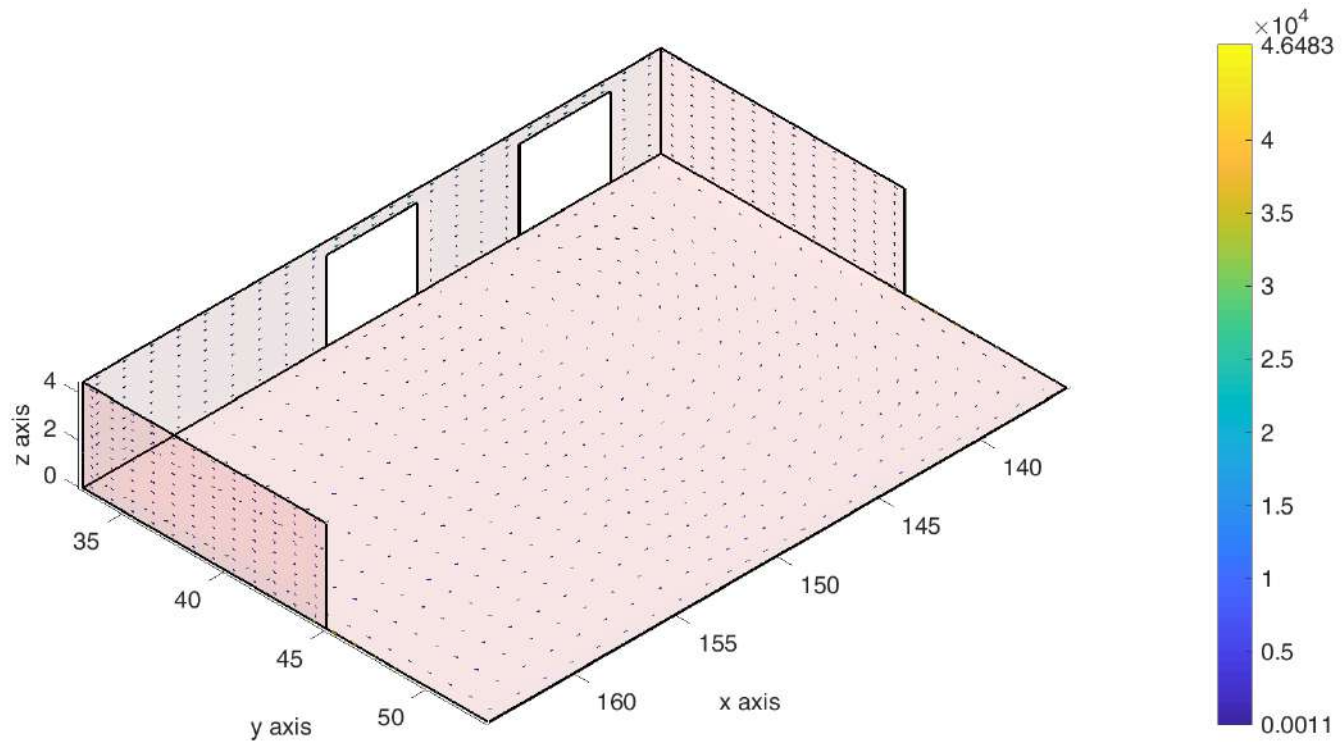
Image Landsat / Copernicus
© 2018 Google
© 2009 GeoBasis-DE/BKG
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO

Google Earth

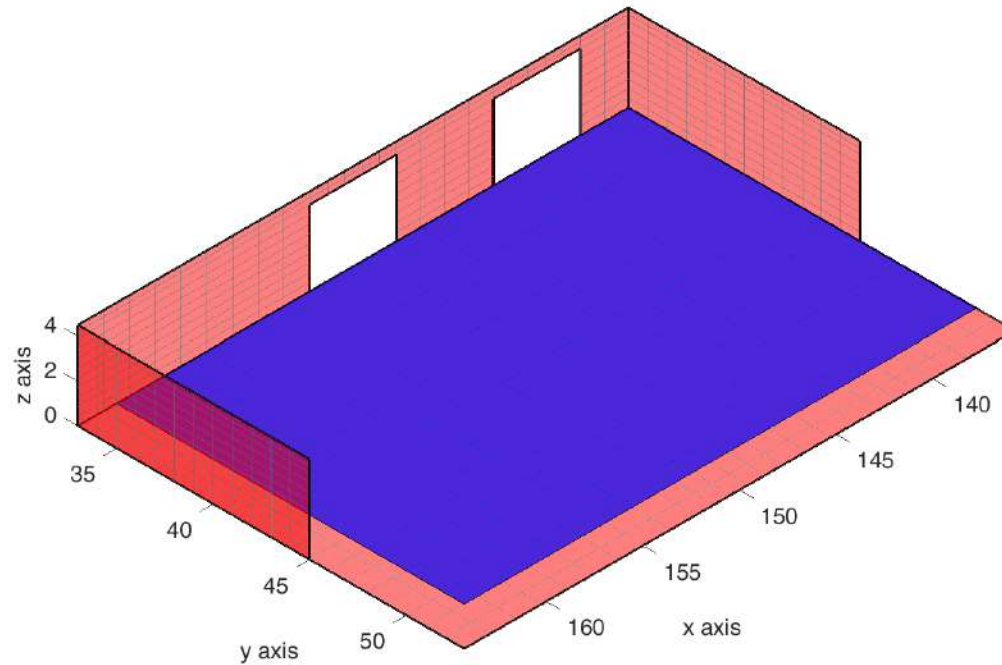
Linea Alta Tensione e schermatura conduttiva



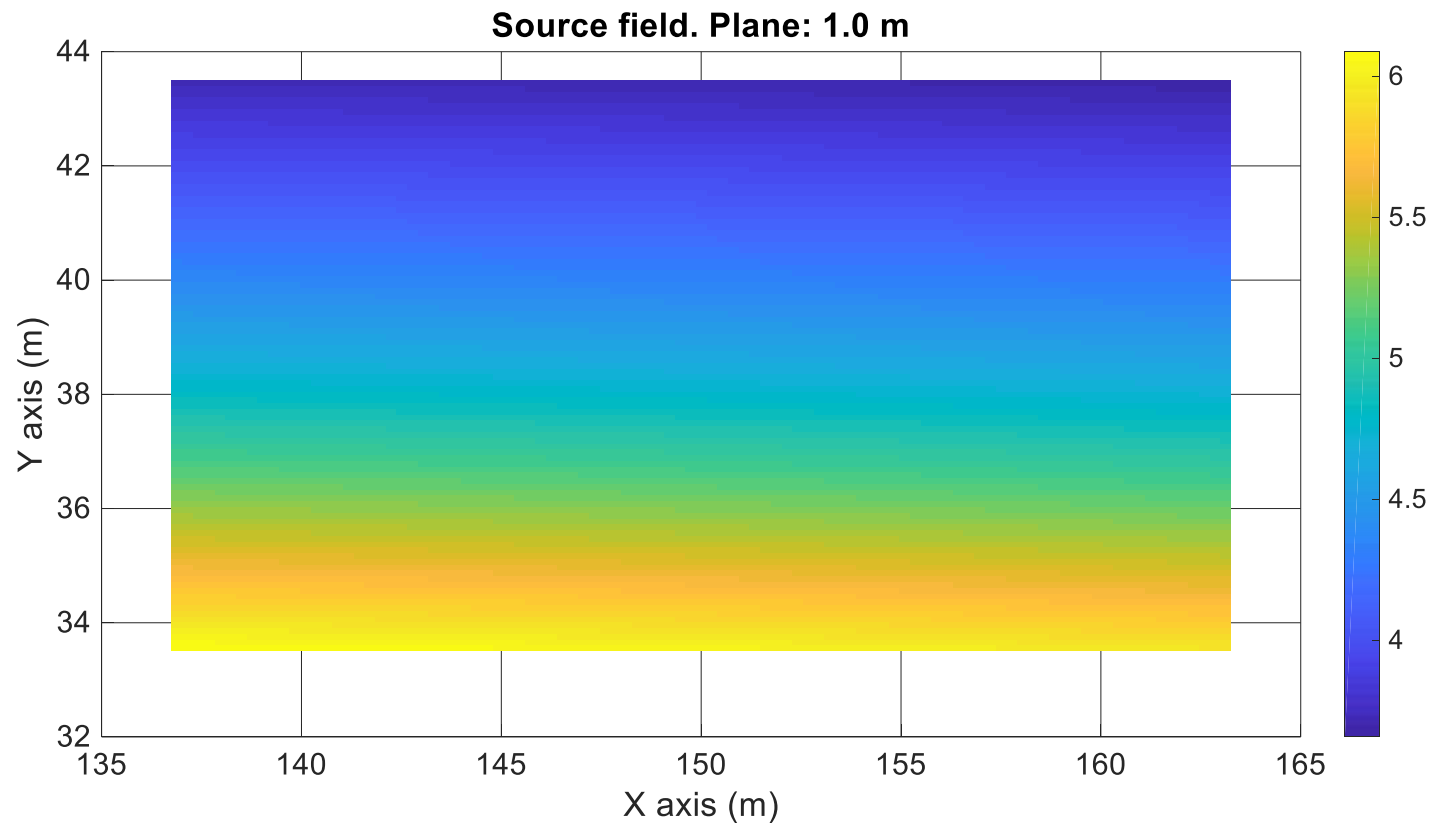
Densità di corrente nello schermo



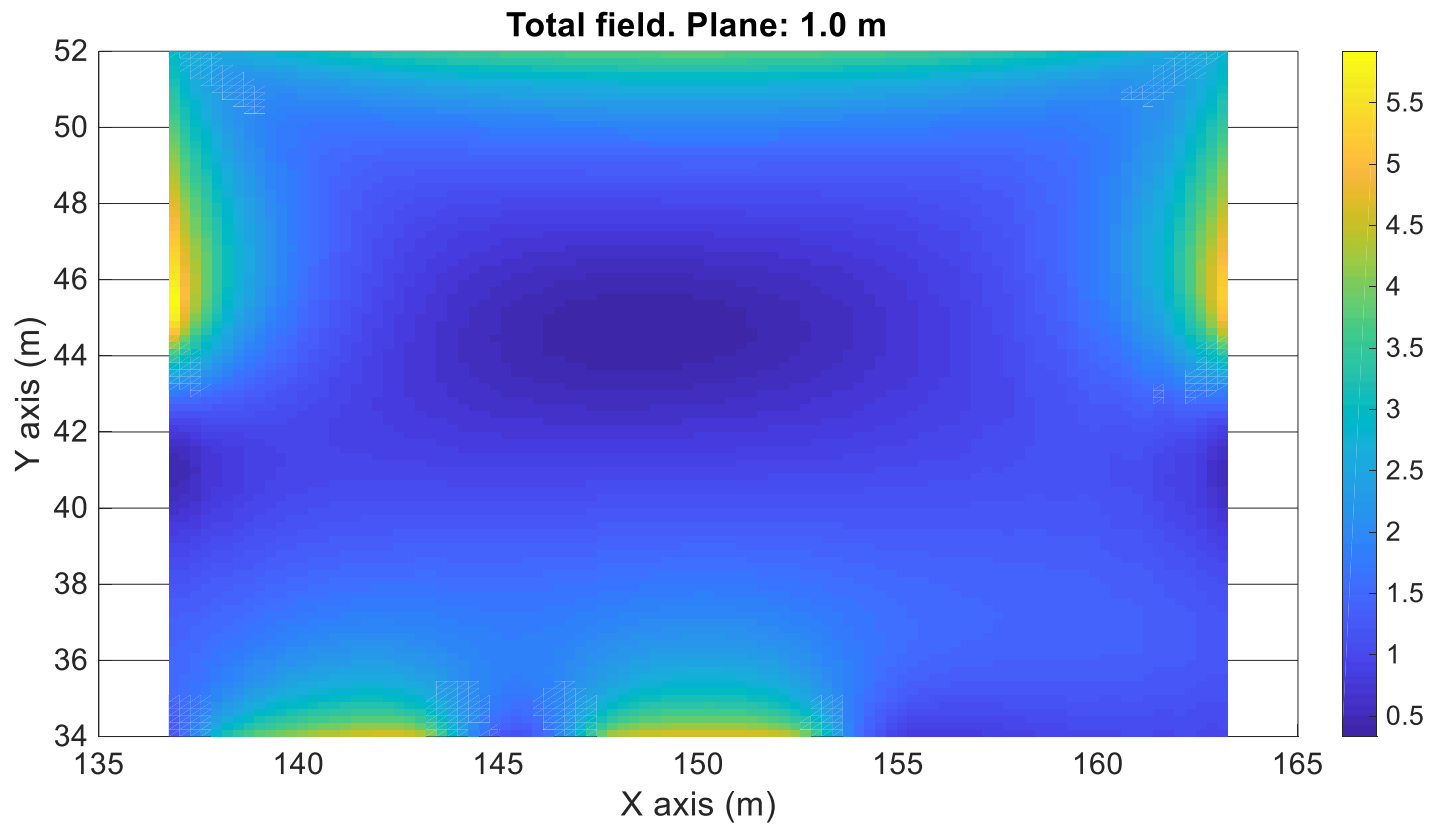
Piano di studio ad 1m dal piano di calpestio



Induzione magnetica in assenza di schermatura



Induzione magnetica in presenza di schermatura



Terziario: centro commerciale



Capannone industriale



Esempi di schermatura: schermatura di abitazione



Cabina di trasformazione MT/BT situata nel locale sottostante le camere da letto dell'abitazione.

Problema: cambio di destinazione d'uso del locale, da ufficio ad appartamento (camere da letto).

Valore massimo misurato circa $7 \mu\text{T}$



Schermatura a pavimento



Soluzione: Installazione sul pavimento dell'abitazione di un sistema schermante per la mitigazione dei campi magnetici da annegare nel massetto.

Risultato: Livelli del campo magnetico nei locali, inferiori a $0,6 \mu\text{Tesla}$.

Cabina secondaria «FR0»

Le schermature dei singoli componenti sono fatte da materiali a singolo o multistrato (a 2 o 3 strati di materiale).



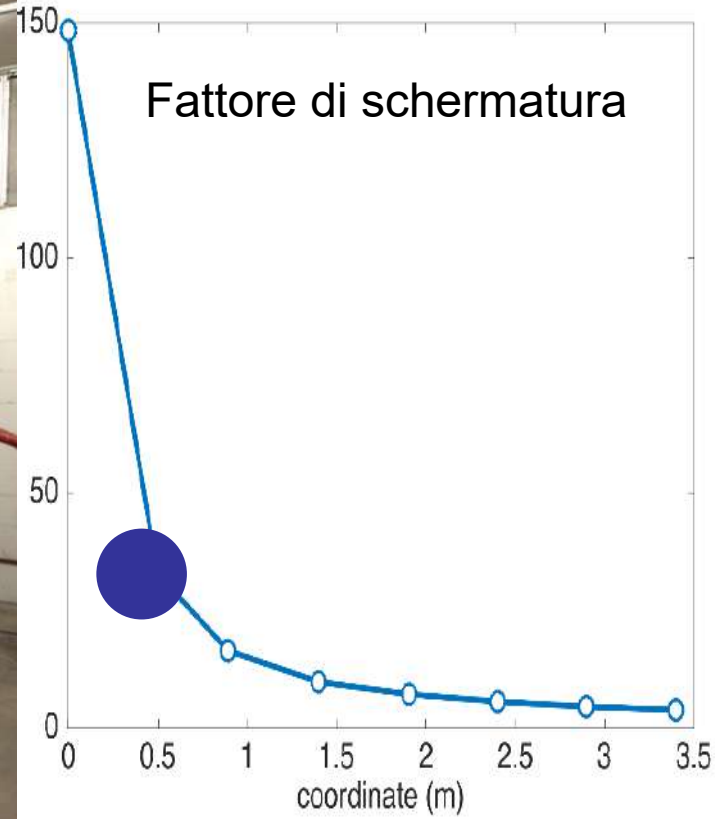
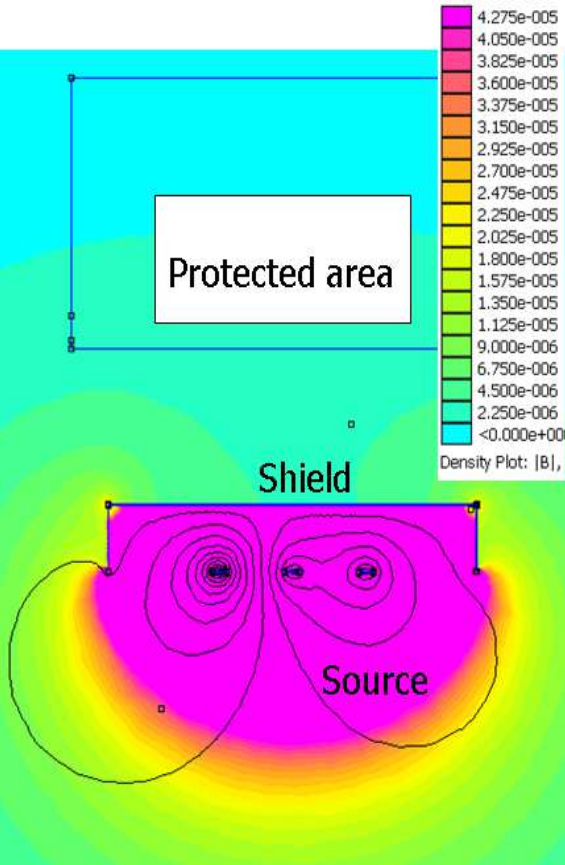
Cabina secundaria «FR0»



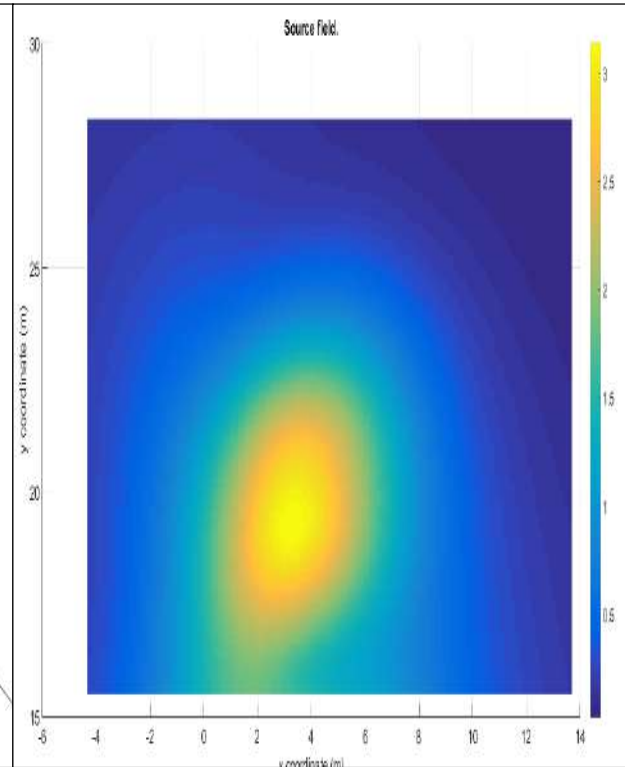
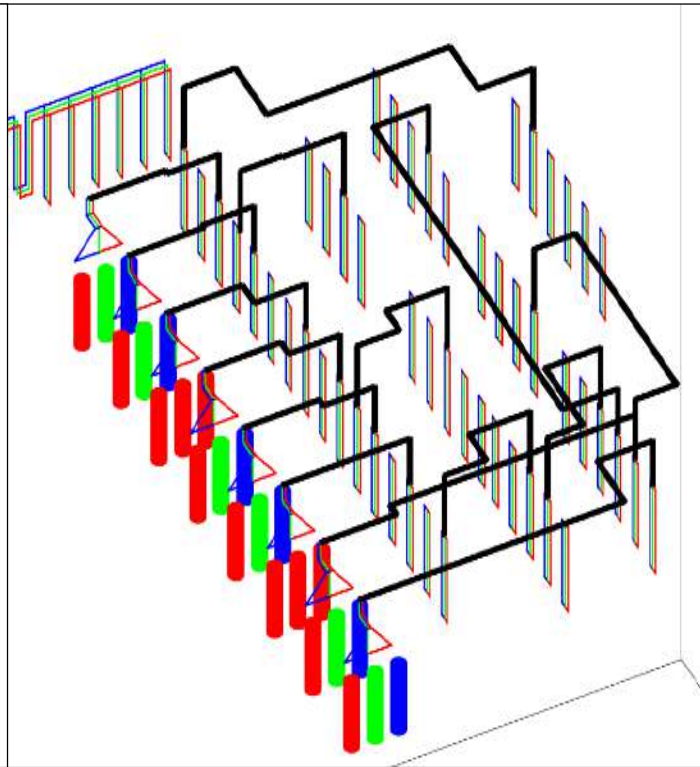
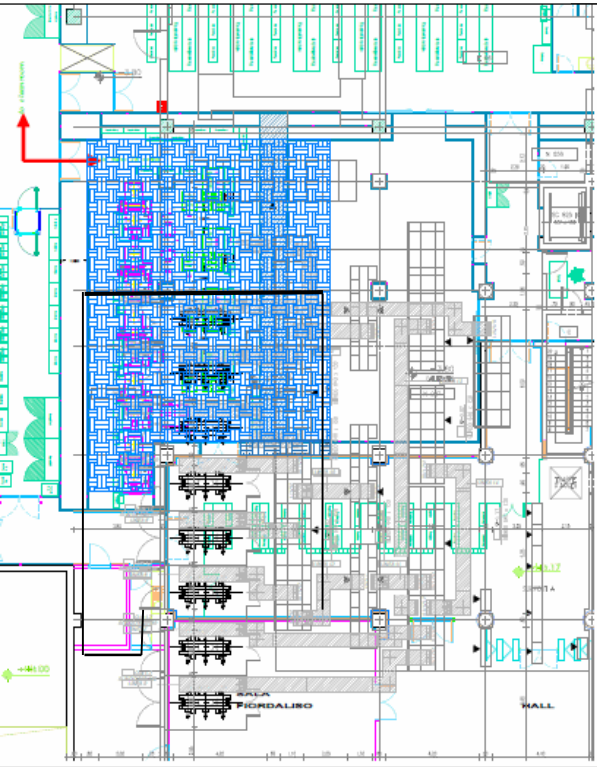
Canalizzazioni schermanti: UFFIZI (FI)



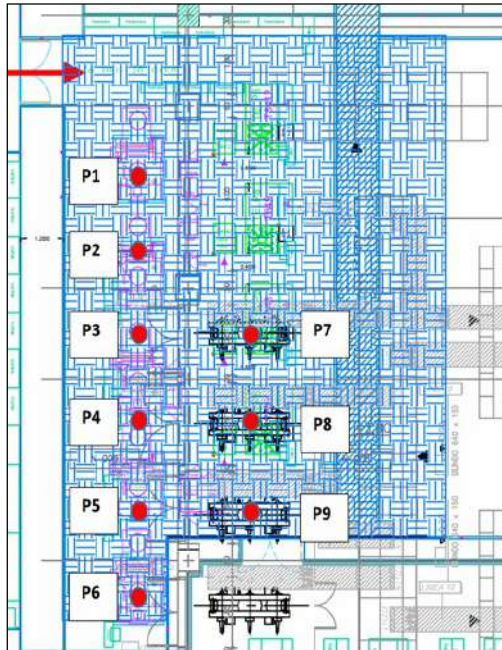
Laboratorio medico



Clean room laboratory



Clean room laboratory

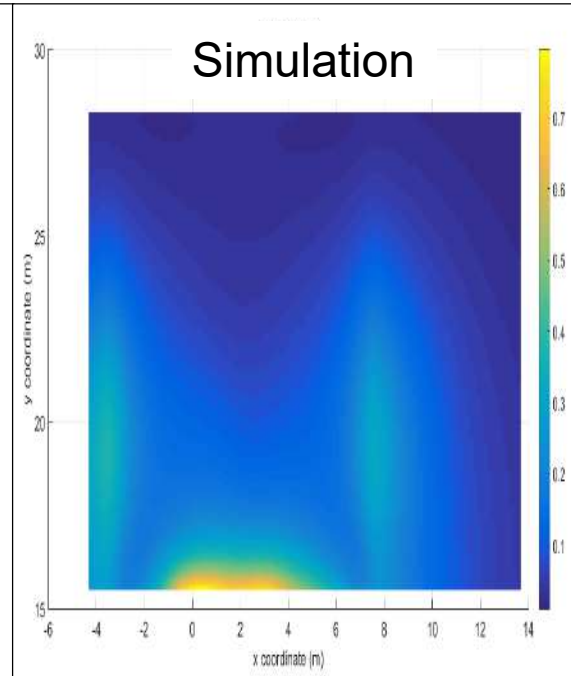
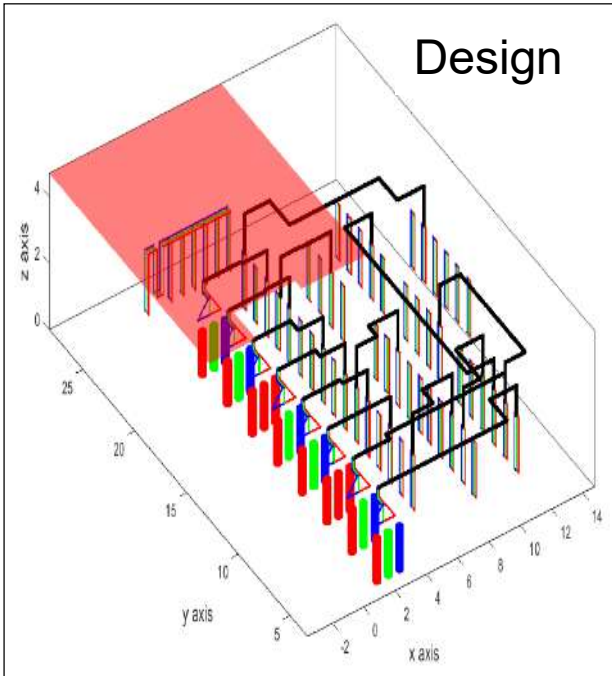


Measured Values: without shielding

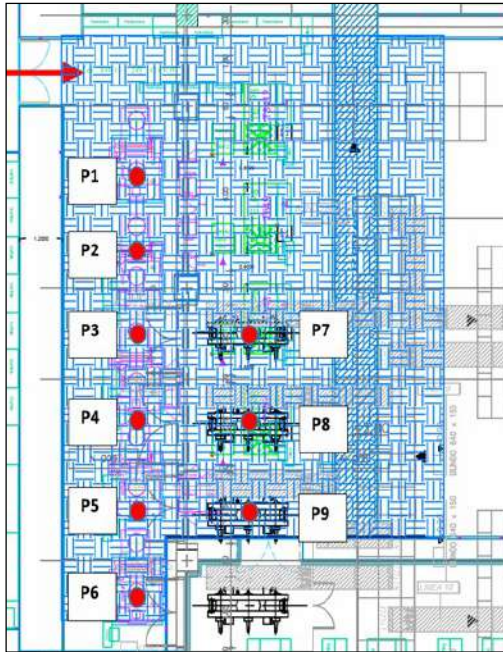
	B [μT] Z = 70cm	B [μT] Z = 120cm	B [μT] Z = 170cm
P1	0,96	0,92	0,92
P2	1,23	1,18	1,17
P3	2,55	2,13	1,96
P4	--	--	--
P5	--	--	--
P6	--	--	--
P7	2,41	2,22	2,22
P8	2,63	2,32	2,17
P9	1,86	1,72	1,62

- Points where $B < 0,2\mu\text{T}$
- Points where $0,2\mu\text{T} < B < 0,4\mu\text{T}$
- Points where $0,4\mu\text{T} < B < 0,6\mu\text{T}$
- Points where $0,6\mu\text{T} < B < 0,8\mu\text{T}$
- Points where $B > 0,8\mu\text{T}$

Clean room laboratory



Clean room laboratory

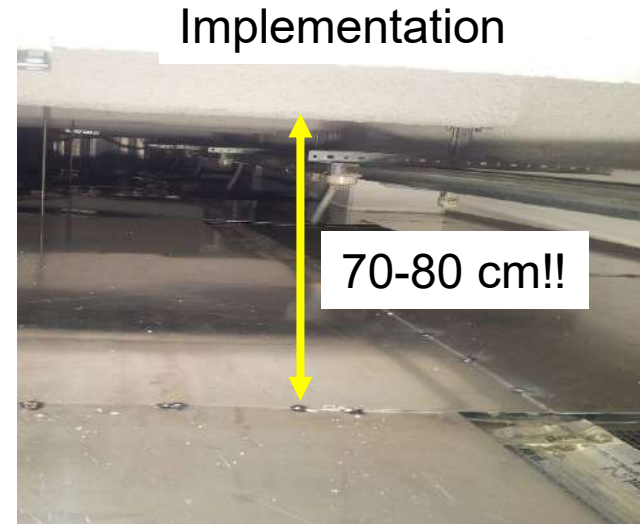
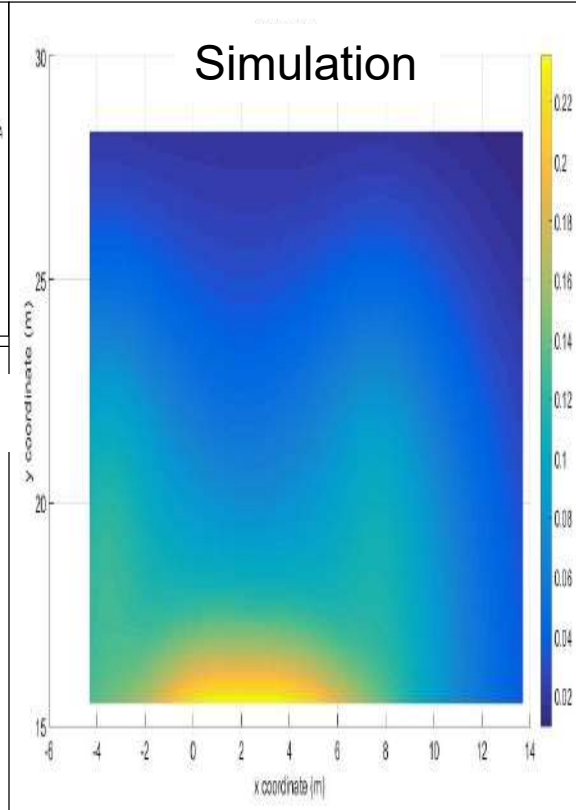
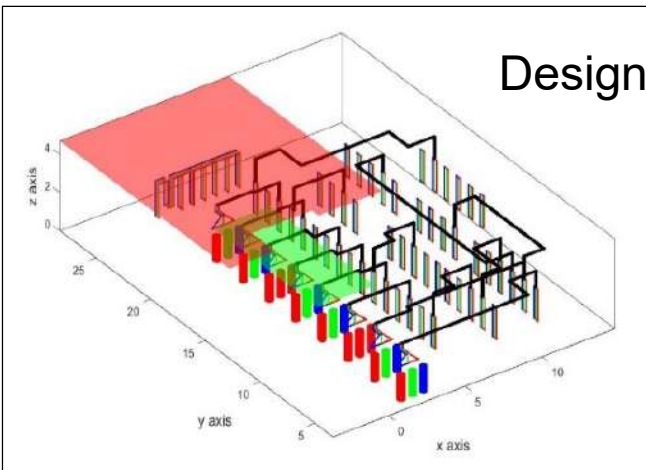
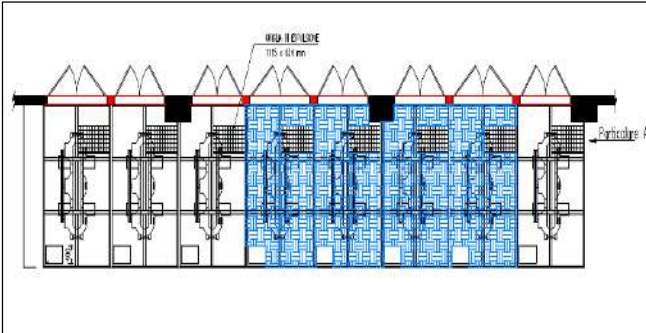


Measured Values: with shielding

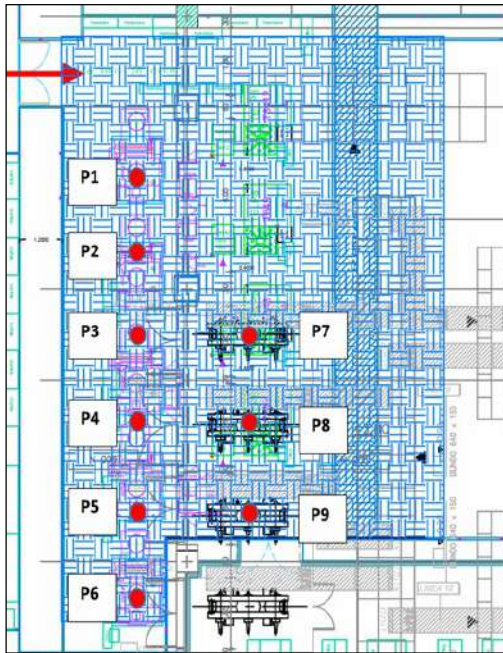
	B [μ T] Z = 70cm	B [μ T] Z = 120cm	B [μ T] Z = 170cm
P1	0,09	0,10	0,11
P2	0,09	0,09	0,09
P3	0,10	0,13	0,14
P4	0,15	0,16	0,18
P5	0,42	0,37	0,35
P6	0,66	0,59	0,54
P7	0,23	0,22	0,22
P8	0,26	0,26	0,27
P9	0,98	0,72	0,62

- Points where $B < 0,2\mu$ T
- Points where $0,2\mu$ T $< B < 0,4\mu$ T
- Points where $0,4\mu$ T $< B < 0,6\mu$ T
- Points where $0,6\mu$ T $< B < 0,8\mu$ T
- Points where $B > 0,8\mu$ T

Clean room laboratory



Clean room laboratory



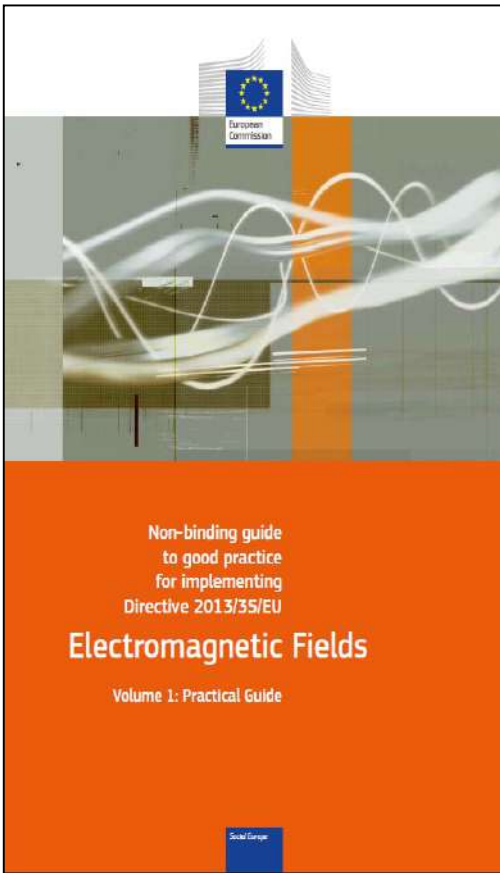
Measured Values: with additional shielding

	B [μ T] Z = 70cm	B [μ T] Z = 120cm	B [μ T] Z = 170cm
P1	0,19	0,18	0,18
P2	0,16	0,14	0,14
P3	0,16	0,15	0,15
P4	0,17	0,17	0,17
P5	0,27	0,25	0,24
P6	0,44	0,41	0,35
P7	0,23	0,22	0,21
P8	0,22	0,21	0,22
P9	0,51	0,37	0,34

- Points where $B < 0,2\mu$ T
- Points where $0,2\mu$ T $< B < 0,4\mu$ T
- Points where $0,4\mu$ T $< B < 0,6\mu$ T
- Points where $0,6\mu$ T $< B < 0,8\mu$ T
- Points where $B > 0,8\mu$ T

Sorgenti industriali

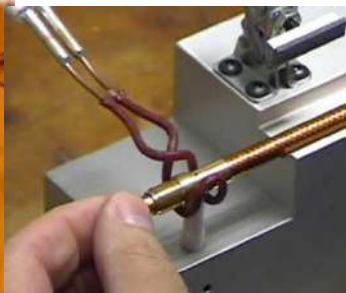
<http://www.portaleagentifisici.it/>



Induction heating



Induction soldering



NDT Magnetic inspection



Welding manual resistance



Electrolysis



Furnaces



Medical Equipements



Dielectric welding

Tunnel di smagnetizzazione: sorgente a 50 Hz

I sistemi per la smagnetizzazione di componenti ferromagnetici sono necessari per annullare il più possibile l'induzione magnetica residua di componenti che sono stati sottoposti da un ciclo di magnetizzazione statica o dinamica finalizzata ai controlli non distruttivi

Tali sistemi sono caratterizzati da un grosso avvolgimento alimentato in corrente alternata a frequenza regolabile.

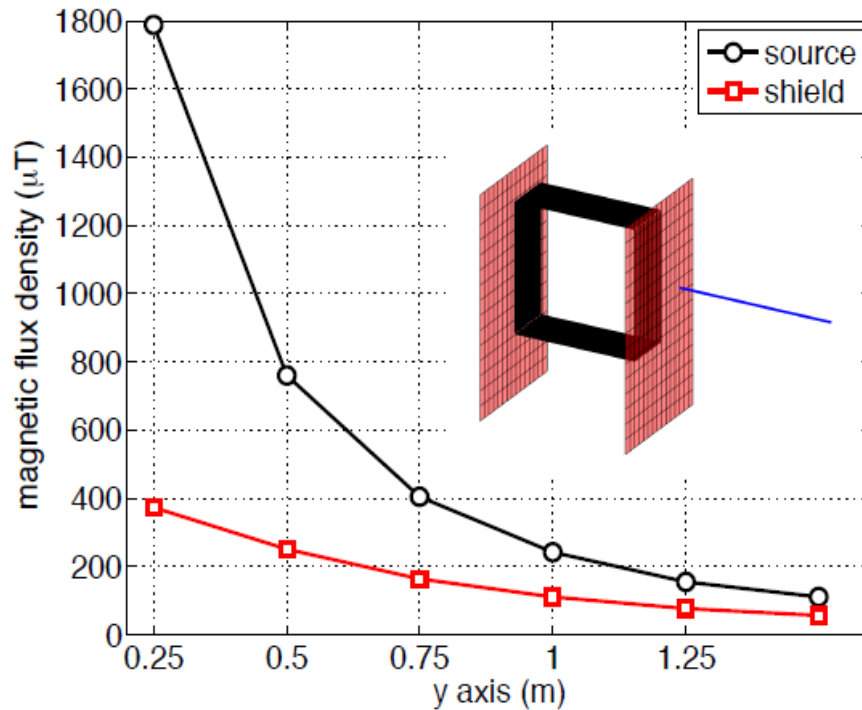
Il pezzo che deve essere sottoposto a smagnetizzazione viene fatto passare all'interno del solenoide.

Generalmente il pezzo viene posto su di un tapis roulant o viene movimentato a mano mediante un carrello che porta il pezzo al centro del solenoide e poi lo allontana fino ad una



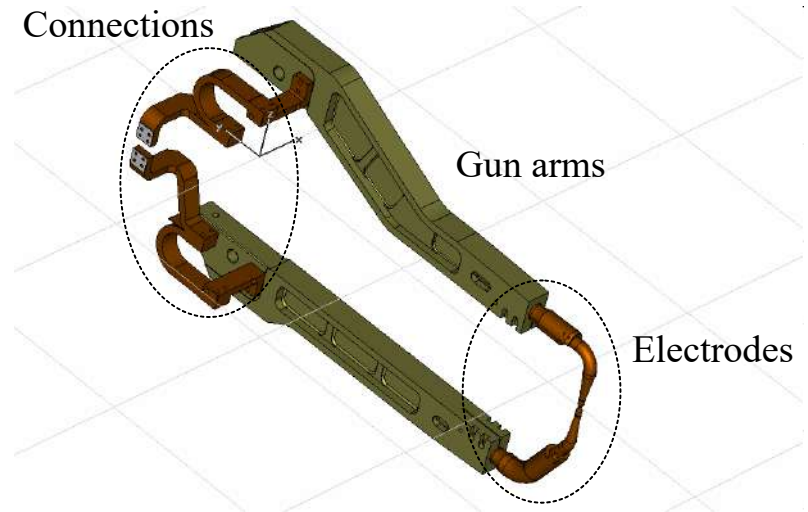
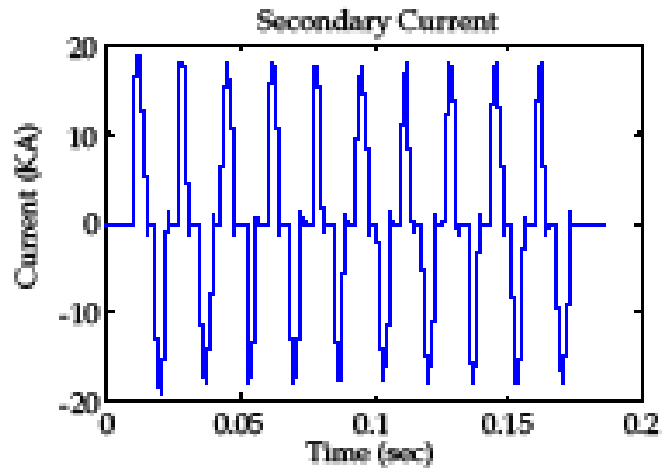
Smagnetizzatore industriale: schermatura

La schermatura permette un abbattimento significativo dei livelli di induzione magnetica nell'intorno dell'apparecchiatura.

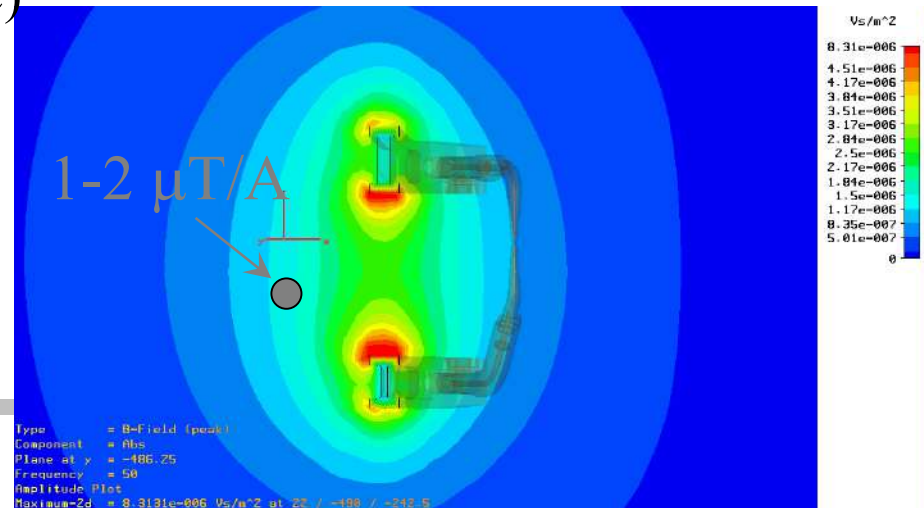
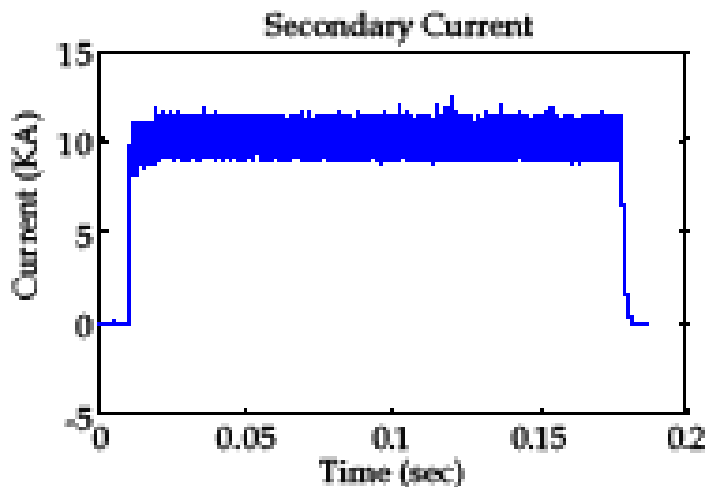


Saldatura a resistenza: sorgente a 50 Hz o complessa

Direct Energy (AC)

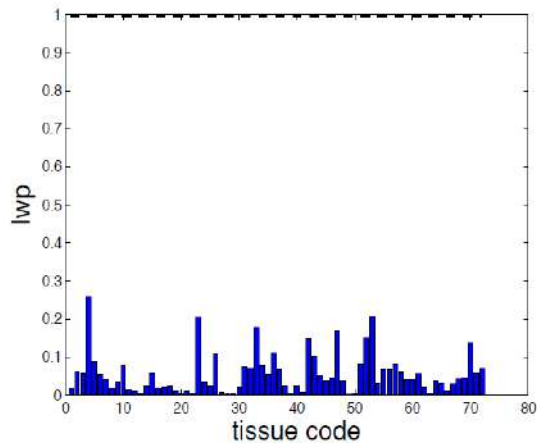
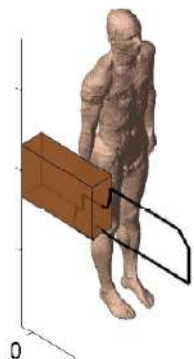


Medium Frequency Direct Current (MFDC)

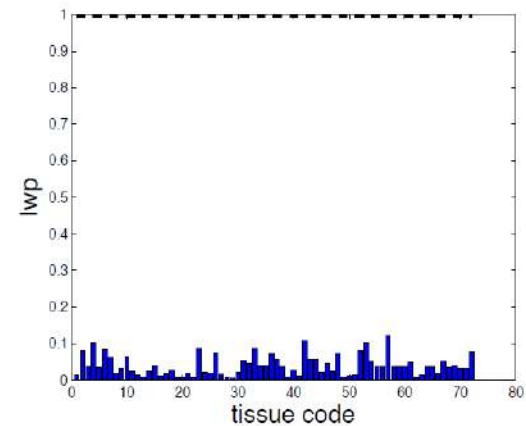
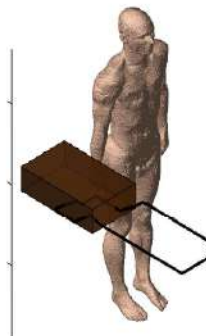


Calcolo dosimetria secondo ICNIRP 2010

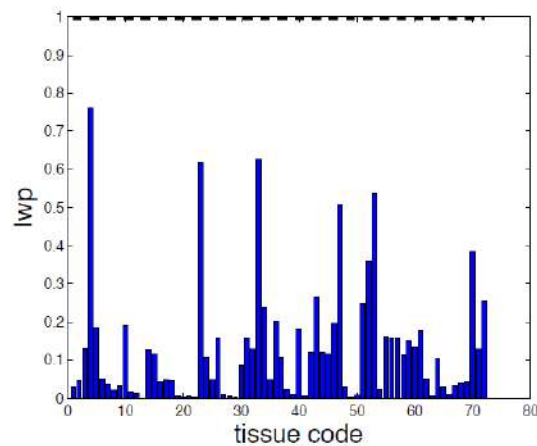
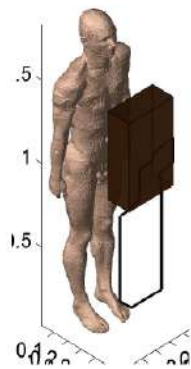
Side 1



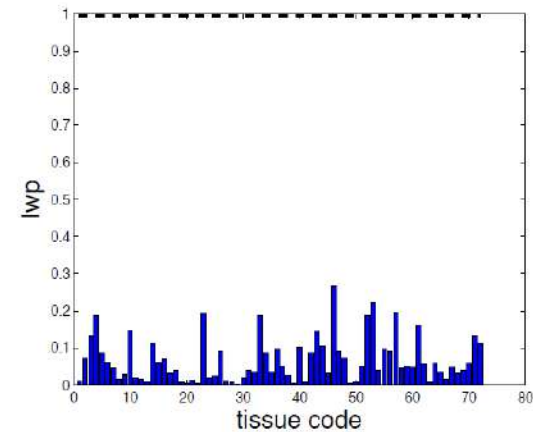
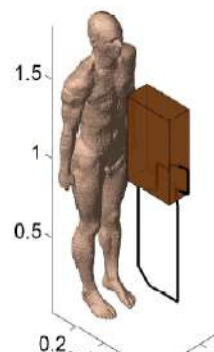
Side 2



Front 1



Front 2



Conclusioni

- Per la protezione di aree con permanenza superiore alle 4 ore esiste una legge del 2001 che impone restrizioni ai gestori ed ai proprietari di immobili o terreni edificabili che deve essere considerata... *sono passati quasi 20 anni...*
- Per la protezione dei lavoratori *a partire dal 2008 è obbligatoria l'analisi del rischio* e a partire dal luglio del 2016 il rispetto dei limiti.
- La valutazione di impatto ambientale o la misura è ormai prassi «abbastanza» consolidata, pur non esistendo ancora un albo di personale qualificato alle misure vi sono molti tecnici ormai dotati di strumenti e competenze per effettuare le misurazioni
- Nel caso di luoghi con permanenza superiore alle 4 ore ed in caso di superamento dei limiti vi è la possibilità di effettuare dei sistemi di mitigazione e di schermatura
- Anche per la protezione dei lavoratori, oltre alle azioni di informazione e formazione, sono possibili sistemi di mitigazione che riducano l'esposizione.



Enabling Technologies for Imaging Automotive Radar

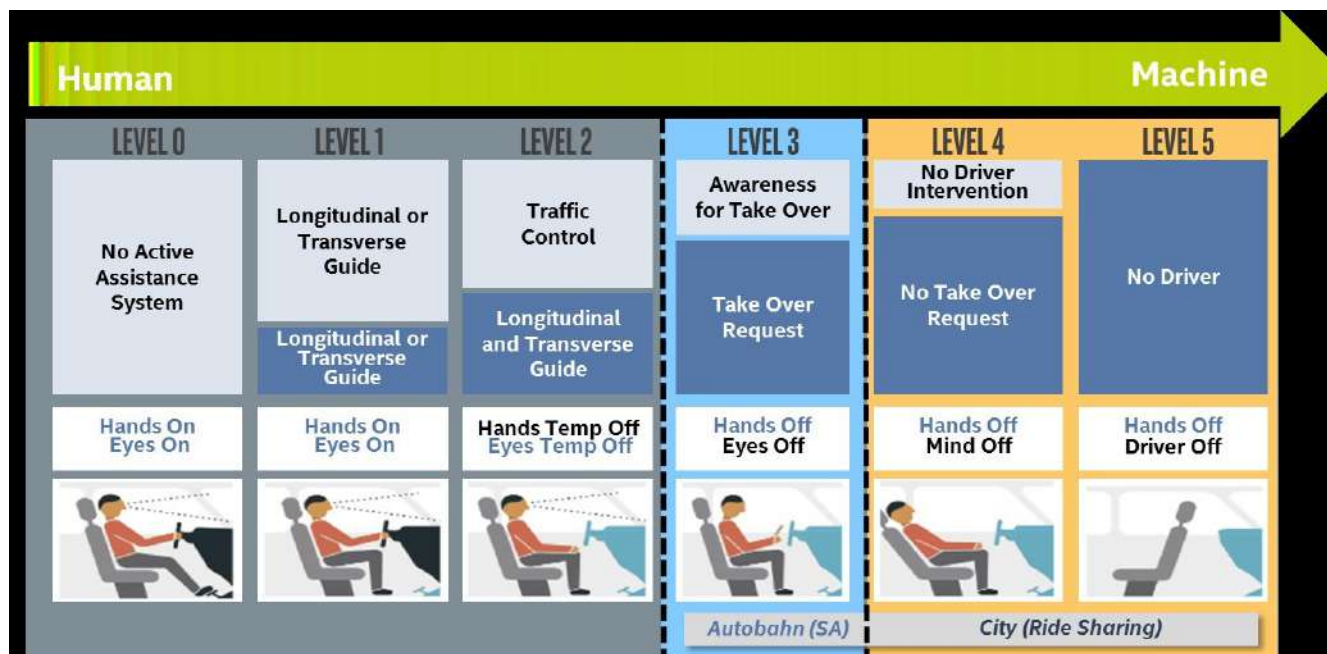
Supporting the C.A.S.E. revolution and radar expert ego

Prof. Riccardo Maggiora


Politecnico di Torino, Italy

Autonomous Driving Car

- To build the future of autonomous driving, we shall enable cars to **SEE** everything in any weather and lightning condition.
- The biggest challenge is to be able to reliably identify children (possibly vs. manhole and next to a car... under a bridge) up to 100 m: good luck!



Radar is the Solution?



	Short Range Radar	Long Range Radar	Lidar	Ultrasonic	Video Camera	3D-Camera	Far IR Camera
Range Measurement < 2m	o	o	o	++	-	++	-
Range Measurement 2..30m	+	++	++	-	-	o	-
Range Measurement 30..150m	n.a.	++	+	--	-	-	-
Angle Measurement < 10 deg	+	+	++	-	++	+	++
Angle Measurement > 30 deg	o	-	++	o	++	+	++
Angular Resolution	o	o	++	-	++	+	++
Direct Velocity Information	++	++	--	o	--	--	--
Operation in Rain	++	+	o	o	o	o	o
Operation in Fog or Snow	++	++	-	+	-	-	o
Operation if Dirt on Sensor	++	++	o	++	--	--	--
Night vision	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-	o	++

Radar is robust and therefore the preferred solution for safety applications !

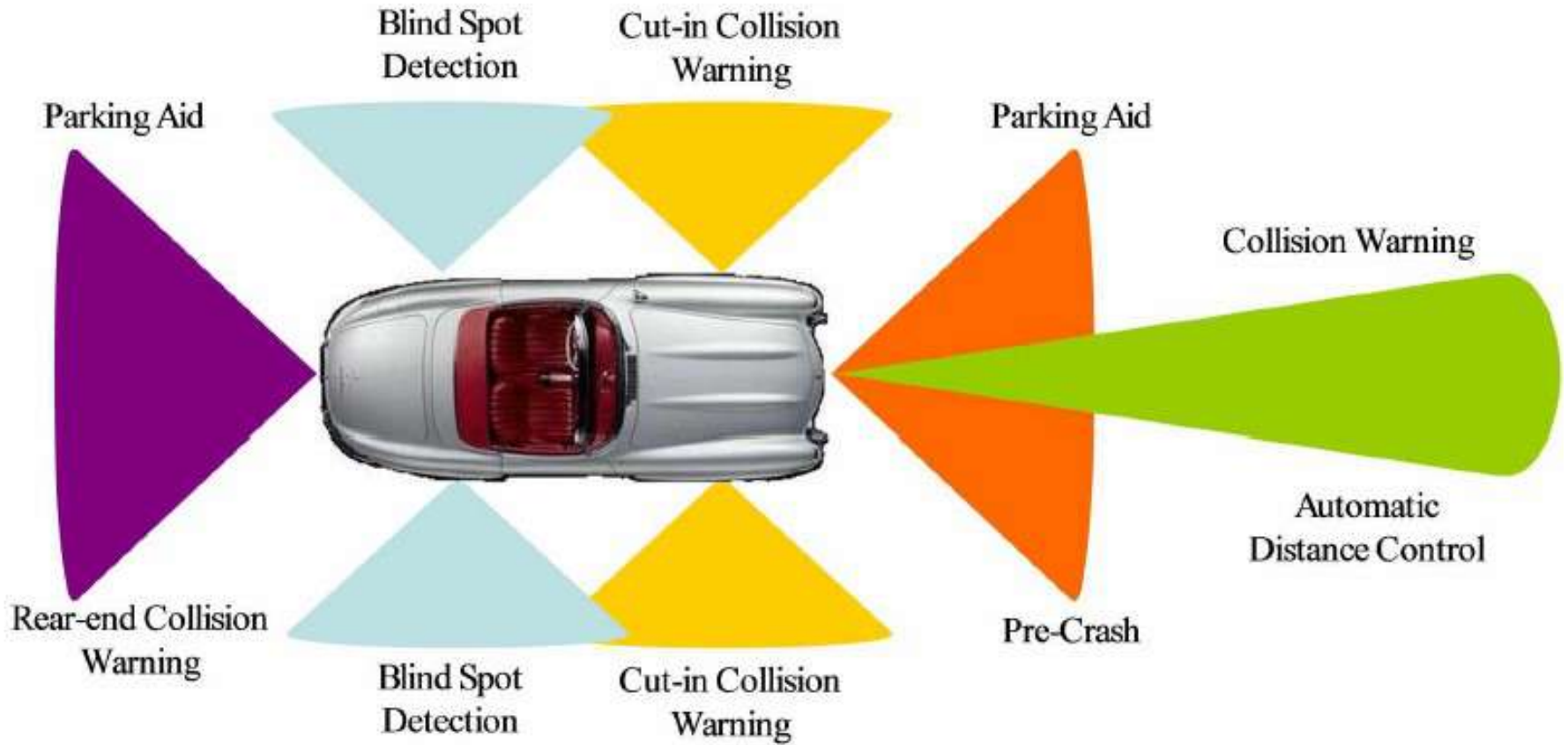
++ : Ideally suited / + : Good performance / o : Possible, but drawbacks to be expected;

- : Only possible with large additional effort / -- : Impossible / n.a. : Not applicable

Source: SiemensVDO

- Yes... but it must be able to create an ultra-high resolution scene **IMAGE** operating at millimeter wave (79 GHz, 136 GHz, ...) to be integrated with camera image.
- This means ultra-high resolution in 3D, wide field of view, measuring speed (3+1)D, low cost, what else?

Radars on a Car



Most Wanted Radar Specs



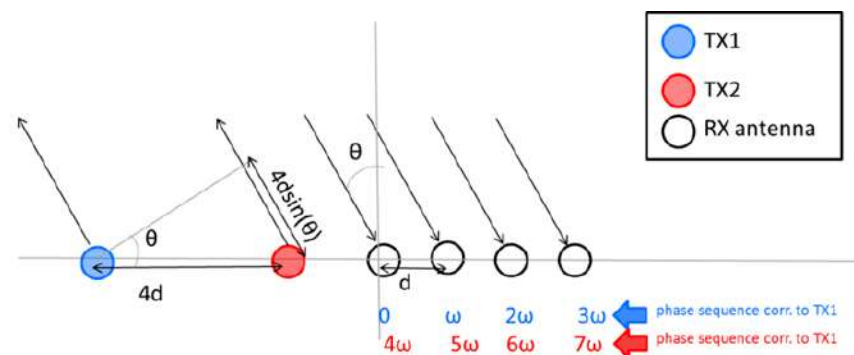
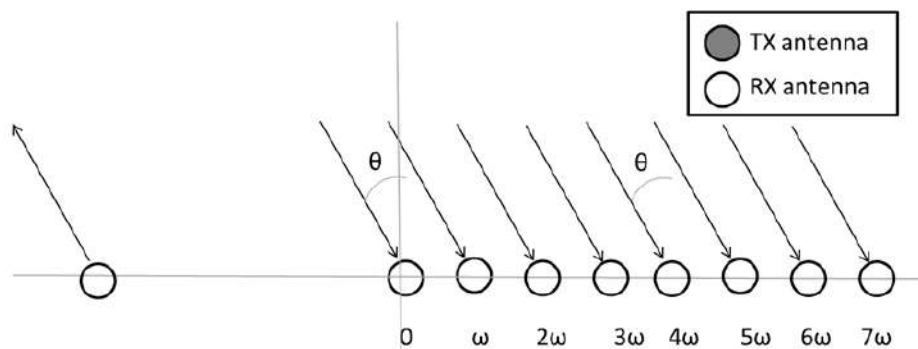
- Resolution requirements: 1° azimuth, 1° elevation, 0.1 m range, 0.1 m/s speed.
- Technical requirements: 128 x 16 element beam-former, 1.5 GHz bandwidth, 12.5 usec pulse duration, 800 pulses each sensing.
- Sensing at 20 Hz: 45 azimuth X 20 elevation X 1000 range X 800 speed X 16 bit.
- Throughput: 12 Gb every 50 ms -> 240 Gb/sec!

Enabling Technologies at mmWave

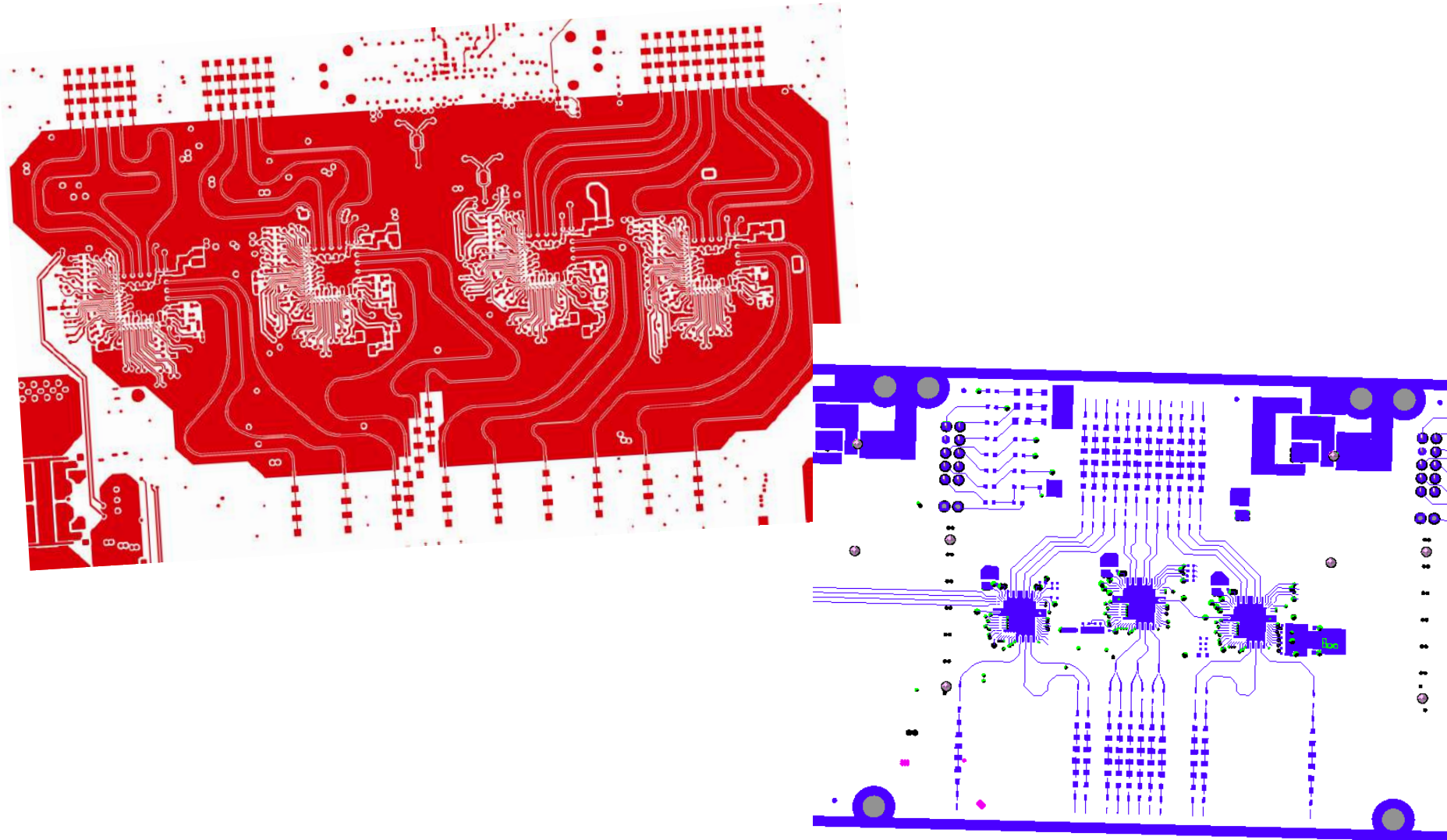
- 1. Massive MIMO** (i.e using many antennas and many channels in the array) can implement high gain adaptive beamforming that would produce the effect of increasing SNR, beam resolution, coverage, robustness and reducing interference.
- 2. New digital modulation schemes** are needed to implement true coded spread spectrum and resilient system. Avoid VCO (and all its problems), implement temporal pulse compression, range-Doppler decoupling, benefit from processing gain. Capitalize on all development reached in communications sector.
- 3. Silicon CMOS technology** can provide transceiver and low level processing on RASIC (RADAR System IC) avoiding to transmit huge amount of data. Benefits from design flexibility, economies of scale and cost reduction.
- 4. Polarimetry**, using different polarization at the same time, provides further information about the nature of an object.
- 5. New antenna technologies** like dielectric resonator antennas, waveguides, 3D antennas, antennas on package, etc.

How to Achieve Ultra-High Resolution in Angle

- A direct approach to obtain physical 1° beamwidth for the entire field of view requires increasing the number of antennas and this approach requires a huge number of separate RX (or TX) chain on the device.
- Fortunately, the beamwidth of a MIMO (Multiple Input Multiple Output) radar with N TX antennas and M RX antennas can be made equivalent to that of a radar with $N \times M$ RX antennas: massive MIMO radar provides a cost-effective way to improve the angle resolution of the radar.

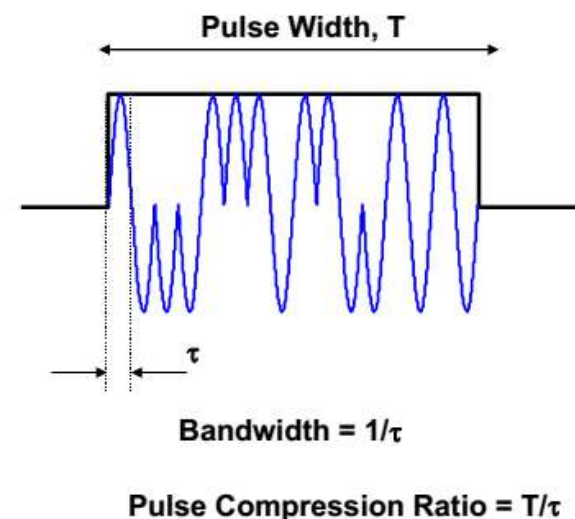


MIMO Radar Examples

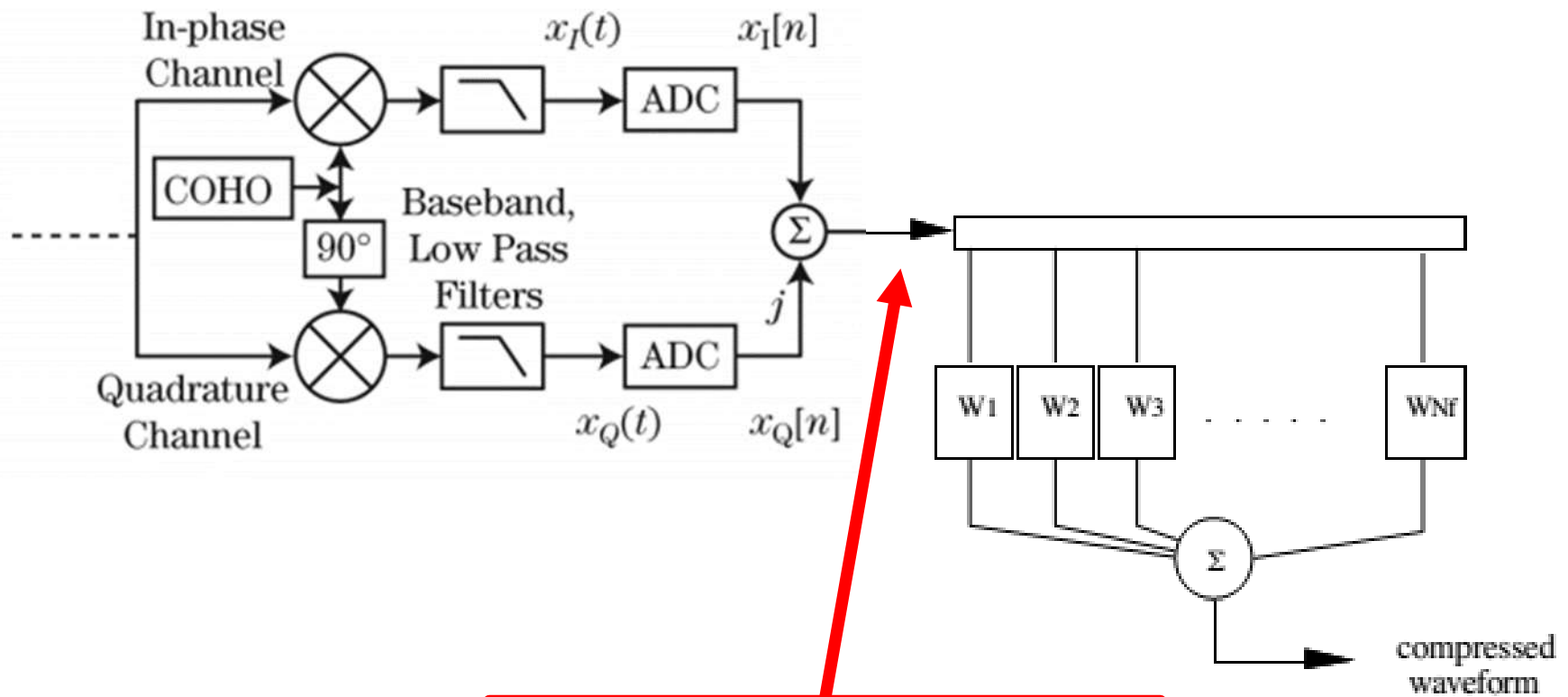


Multiplexing Strategies for MIMO Radars

- It is required that RX antennas are able to separate the signals corresponding to different TX antennas.
- Time division wastes time (i.e. unambiguous speed, resolution or sensing frequency) and phase error appears in by moving target (need calibration).
- Frequency division wastes bandwidth (i.e. range resolution) and phase error appears caused by target range (need calibration).
- Digital modulations (like binary phase coding) are naturally orthogonal and transmitters share both time and bandwidth by using orthogonal code sequences.



Digital Pulse Compression



HUGE AMOUNT OF DATA

Digital Modulation vs. Linear-FM

- Identical approach for target direction of arrival and Doppler processing.
- No range side-lobes by proper sequence design (thumb-tack detection).
- Maximum range not limited by bandwidth and no range-Doppler coupling:

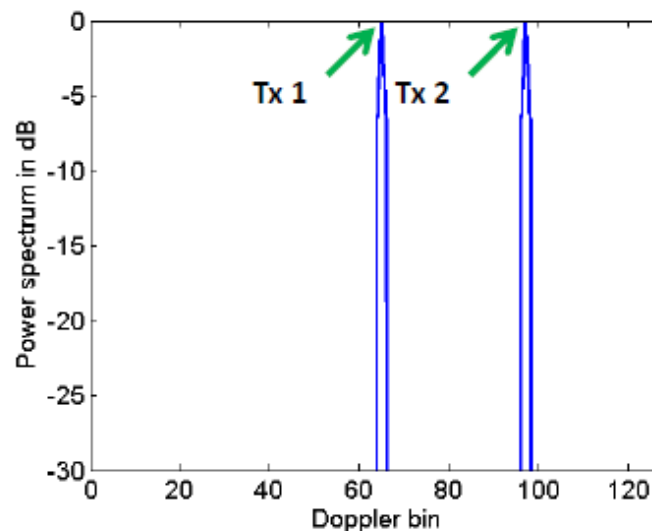
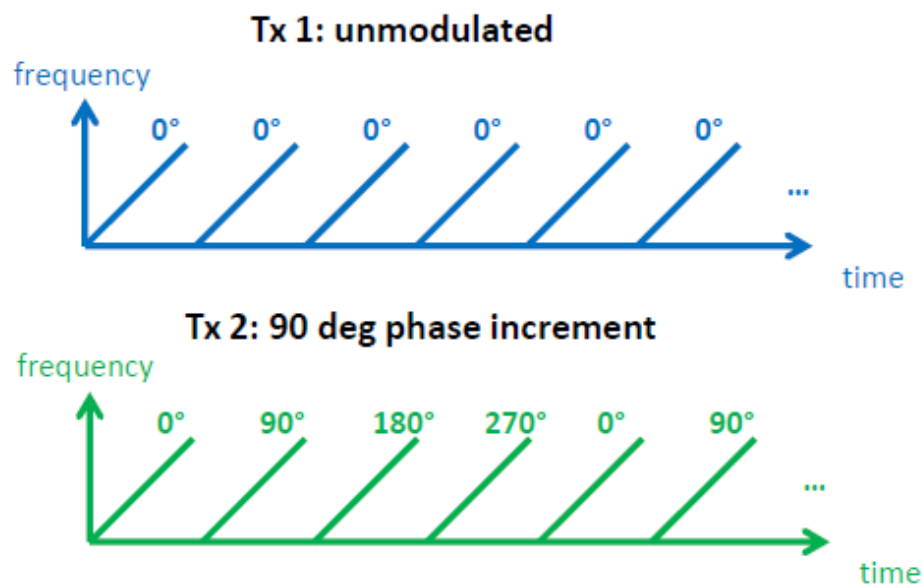
$$R_{MAX} = \frac{t_d c}{2} \quad \text{vs.} \quad R_{MAX} = \frac{\Delta t c}{4\Delta f} f_s$$

- More efficient (ideal) in applying the digital sequence for MIMO techniques.
- Shorter waveforms reduce velocity ambiguities for MIMO techniques.
- More robust to interference due to code division.
- Cascading of multiple chip is done in the code domain with native high accuracy.
- No VCO needed.

IP free!

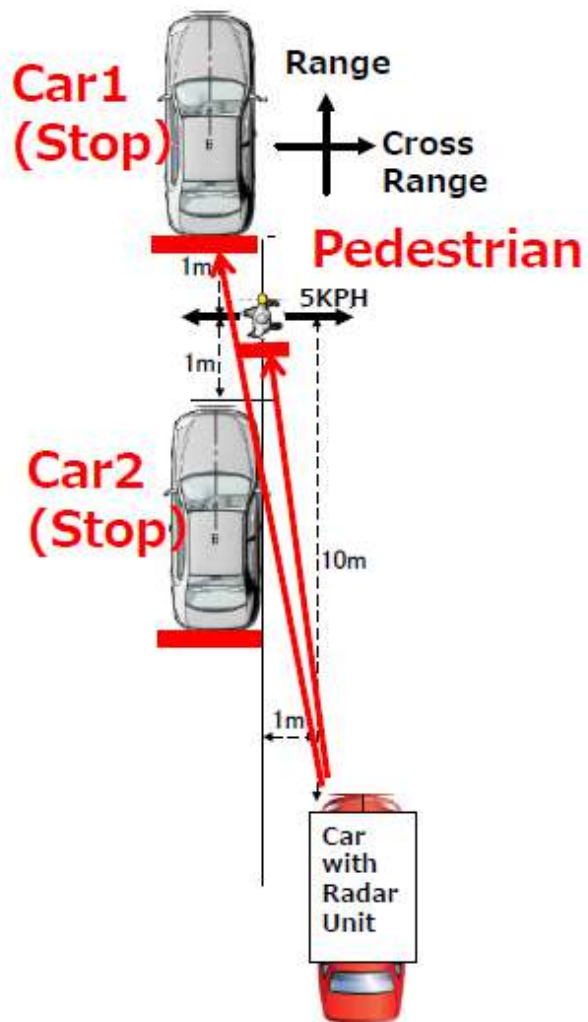
Transition between Linear-FM and Digital Modulation

- Simultaneous transmission on all TX channels to avoid phase correction and ambiguities and to improve sensitivity due to higher transmit power.

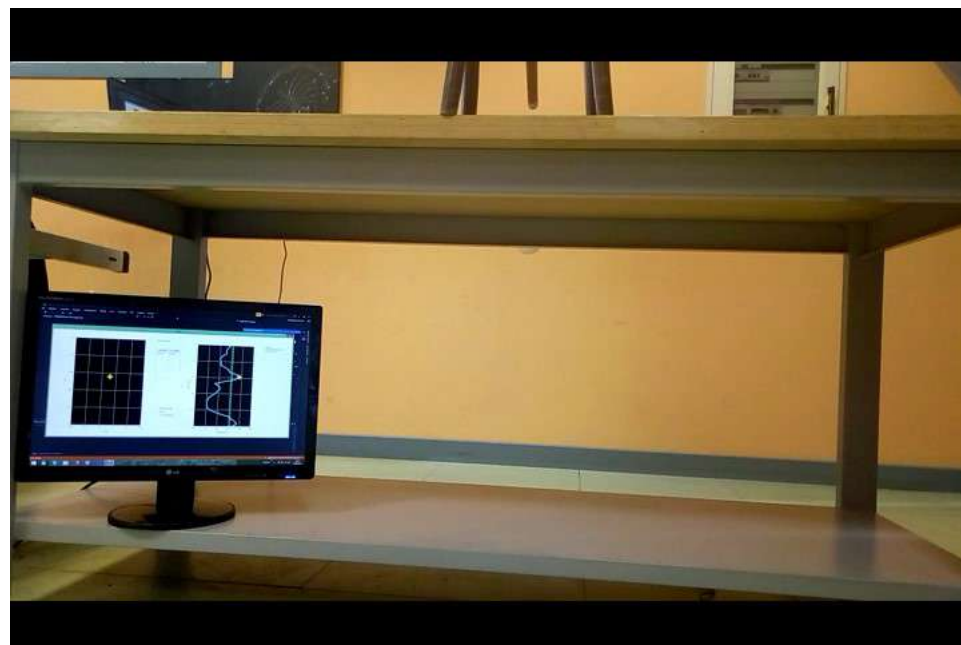


- Doppler multiplex works with different increments and a higher number of transmitters.

The Challenge!



The Solution!



Radars vs. Mobile Communications

- To build the future of autonomous driving, we shall enable cars to see the targets in their environment in any condition; radar is robust and therefore the preferred solution.
- The biggest challenge is to be able to reliably identify a child (vs. a manhole and close to a car) up to 100 m: we need resolution, we need bandwidth!
- And we must be able to allow radars to create an ultra-high resolution scene image.

- To build the future of mobile communications (5G), we shall enable users (people/machines/things) to communicate wireless anyhow and everywhere.
- The biggest challenge is to be able to reliably allow a multitude of users to reliably communicate at Gbit/sec: we need throughput, we need bandwidth!
- And we must be able to allow base-stations to see mobile user equipment in a 3D point to multipoint configuration

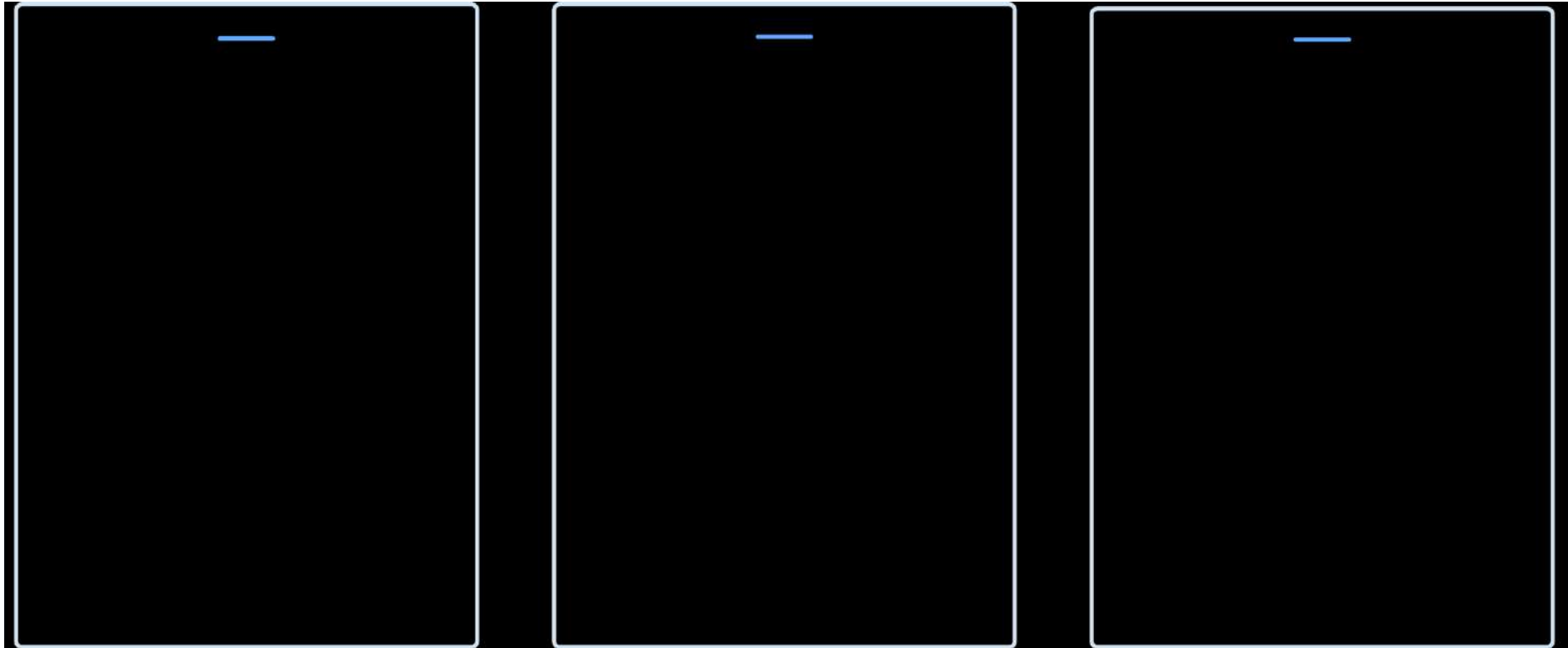
Conclusions

- Ultra-high resolution **4D imaging radar** is needed to meet future automotive needs.
- Ultra-high resolution in azimuth and elevation can be made affordable by adopting **massive MIMO** techniques at **mmWave**.
- Massive MIMO and ultra-high resolution in range can be achieved by **new digital modulation schemes** like phase coded waveform at **mmWave**.
- **CMOS** can make the **RADCAM** approach feasible, affordable and integrated with processing capability.
- **Polarimetry** can improve target classification and **innovative antennas** can improve efficiency.





Radar Group Ongoing Research Activities





POLITECNICO
DI TORINO



Wide Bandgap Inverter for Student Race Competition: Design and Integration Issues

Fausto Stella, Gianmario Pellegrino, Eric Armando

Dipartimento Energia "Galileo Ferraris", Politecnico di Torino, Italy



SQUADRA | CORSE
POLITO



Indice

- Inverter SiC per la Squadra Corse Polito
- Presentazione formula SAE electric
- Problematiche relative all'affidabilità
- Stato dell'arte per la stima della temperatura di giunzione
- Stima della temperatura nell'inverter SiC
- SiC inverter design practices
- Conclusioni

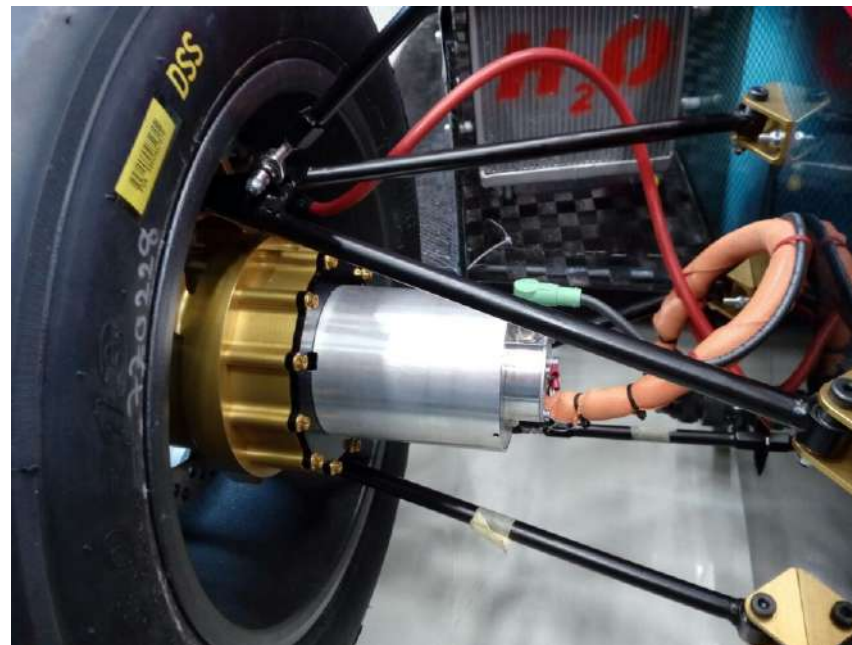


Autovettura SC19

PEIC e Squadra Corse Polito

Nell'ambito delle collaborazioni PEIC si è deciso di sviluppare un nuovo inverter motore per la Squadra Corse del Politecnico di Torino, impegnata nella **Formula SAE**.

La monoposto full-electric è equipaggiata con 4 motoruote, per una potenza di picco totale di 80 kW (limite da regolamento).



Dettaglio Motoruota

Eventi Dinamici

- Acceleration (75pt)
 - 75 m
 - $V_{max} \approx 120$ km/h ;
0-100 in 2,6s
- Skid-Pad (75pt)
 - Raggio medio= 9,25 m
 - Accelerazione Laterale $\approx 2g$
- AutoCross (100pt)
 - Qualifica per slot partenza
Endurance
- Endurance (325pt) & Efficiency (100pt)
 - Lunghezza 22 km
 - Punti basati su tempo ed energia consumata



Eventi Statici

- Design (150pt)
 - Soluzioni tecniche adottate e contenuti innovativo
- Cost (100pt)
 - Giustificazione costi del progetto
- Business Plan (75pt)
 - Ipotesi di produzione in serie del veicolo



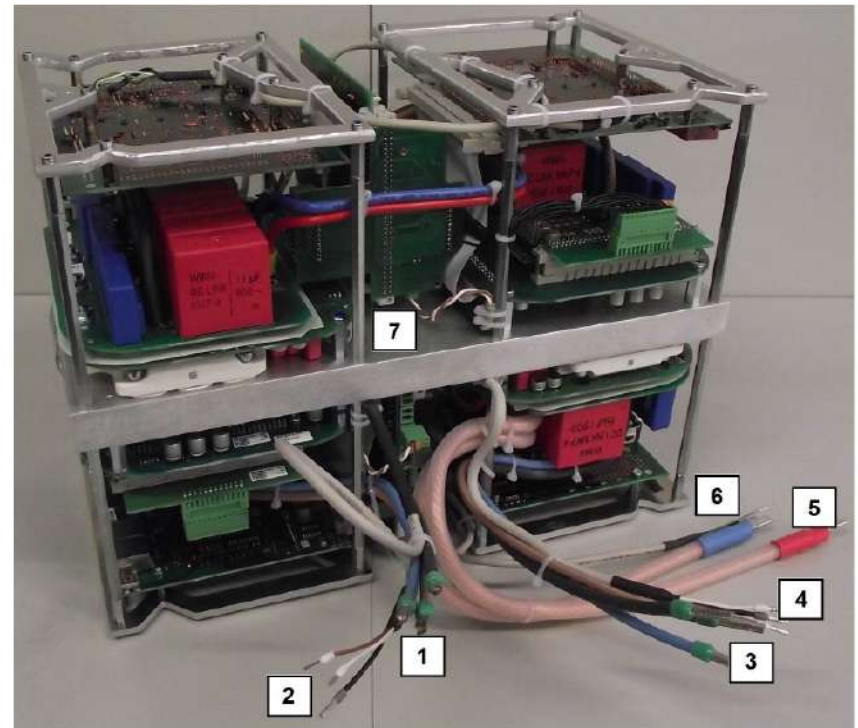
Inverter Commerciale AMK

- Inverter commerciale AMK, con moduli IGBT Infineon 1200 V, 200 A.
- Soluzione standard per formula SAE

Punti di debolezza:

- Ingombri: pacco unico da 4 inverter (dimensioni 340 x 180 x 240)
- Inverter posizionati lontani dalle motoruote
- Centralina controllo motore chiusa
- Frequenza di switching 8 kHz
- Affidabilità migliorabile

Soluzione precedente: 4 inverter AMK



Inverter Custom SiC

- Uso di moduli MOSFET SiC
- $f_{sw} \leq 20 \text{ kHz}$
- Densità di potenza **66 kW/l**
- E' possibile posizionare gli inverter in prossimità delle motoruote
- Algoritmo controllo motore custom, FPGA & Microcontrollore

Ricerca PEIC su Diagnostica e Prognostica:

- Monitor on-line della temperatura di giunzione
- Stima della vita dei moduli

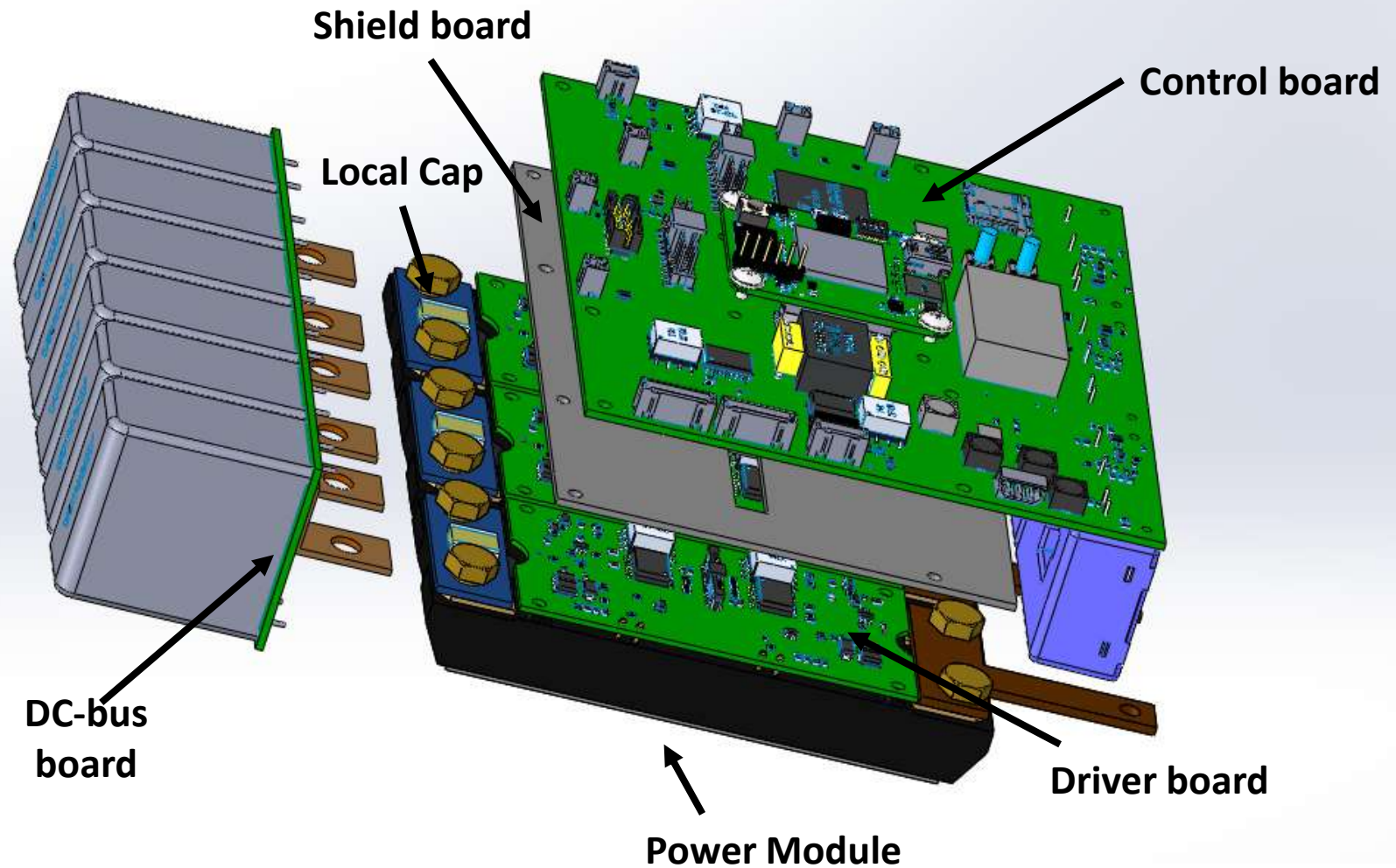
Inverter SiC Prototipale



Inverter Overview

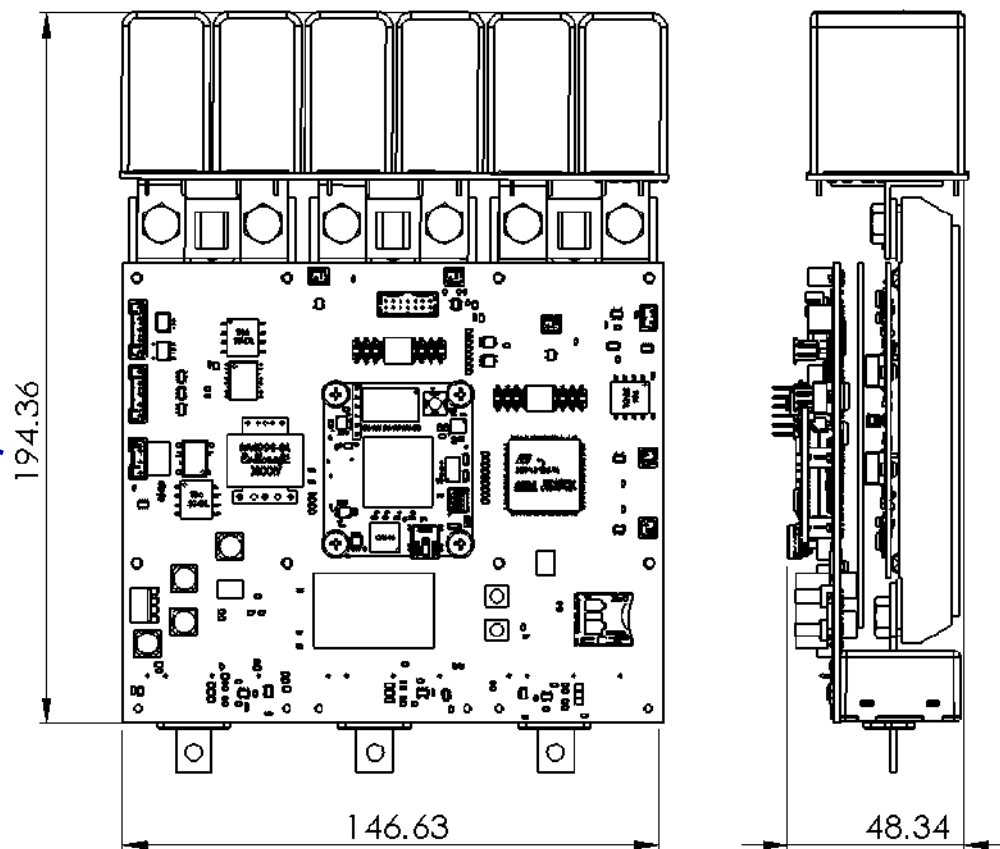


Inverter Assembly



Layout

- La corrente di picco per questo inverter è pari a 240 A (140 A AMK)
- Associato a motore AMK a magneti permanenti da 20 000 rpm, max 1667 Hz fondamentale
- I motori AMK presentano un'ottima densità di potenza, tuttavia a causa dei magneti richiedono molta corrente per essere deflussati
- Heatsink a liquido realizzato in Additive Manufacturing (non rappresentato)





**POLITECNICO
DI TORINO**



Stima on-line della Temperatura di Giunzione

Le tecniche di misura della temperature di giunzione si dividono in:

- **Misura Diretta**

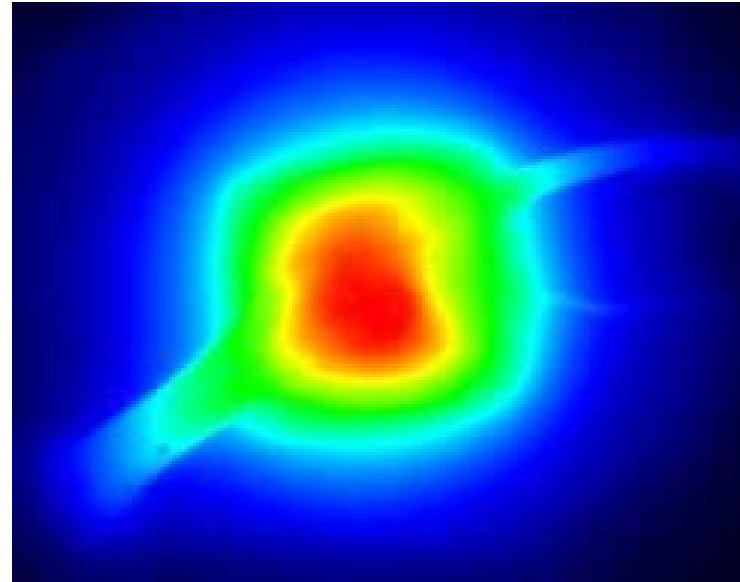
- Termocoppie
- Termocamera a infrarossi

- **Model-Based**

- Modelli termo-elettrici

- **Thermo-Sensitive Electrical Parameters (TSEPs)**

- Diverse soluzioni possibili

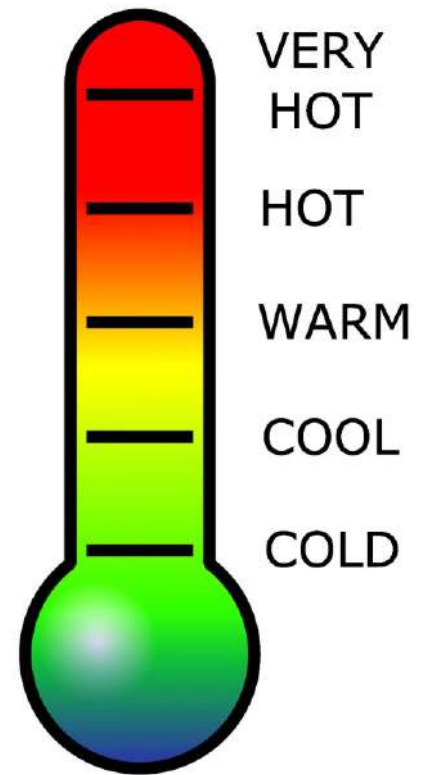


TSEP: Thermo Sensitive Electrical Par.

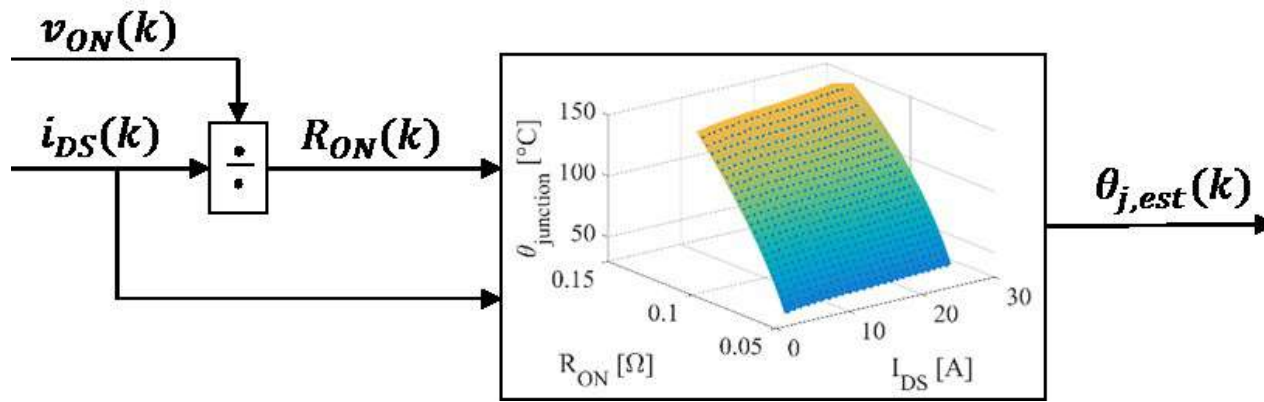
- Tensione di soglia - $V_{GS,TH}$
- Transconduttanza - g_m
- Tensione di bias inversa - $V_{GS} = 0$
- *Resistenza di ON* - $R_{DS,ON}$

Il metodo adottato è la misura della R_{ON}

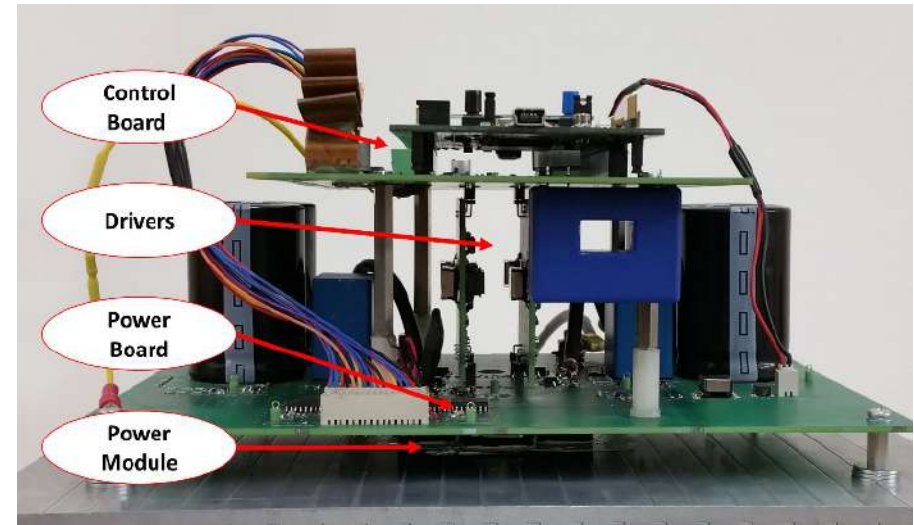
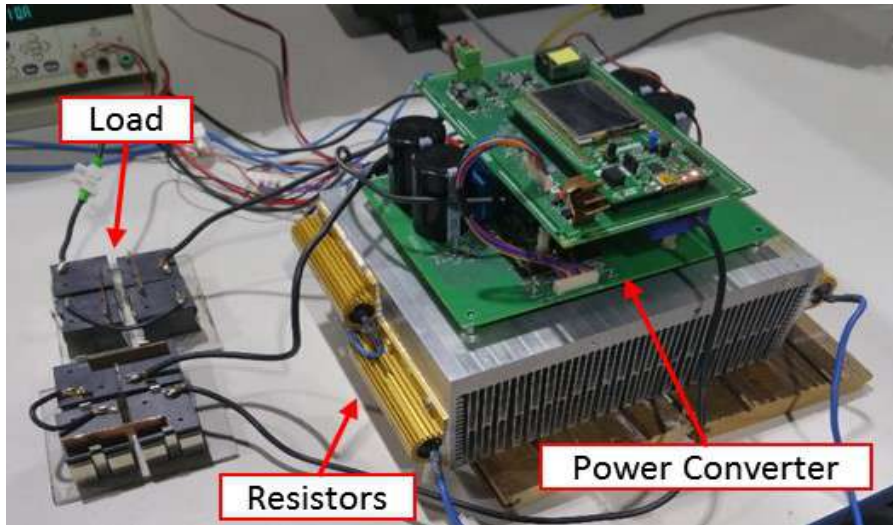
La sfida è integrare il commissioning del modulo nel convertitore



- **Monitor on-line della temperatura di giunzione**
 - Identificazione delle mappe temperatura – V_{ON} – corrente dei singoli dispositivi
 - Stima on-line delle 12 temperature (6 MOSFET e 6 diodi in antiparallelo)
 - Eliminazione della marginatura di progetto, possibilità di de-rating / overload adattativo
- **Stima della vita dei moduli**
 - Lo stesso meccanismo permette di stimare l'invecchiamento dei componenti



Primo Proof of Concept - workshop 2018



- SiC MOSFET
- Microcontrollore industriale e ADC locali a 12 bit
- Componentistica low cost e off-the-shelf
- Possibilità di scaldare il dissipatore fino a 145°C



**POLITECNICO
DI TORINO**



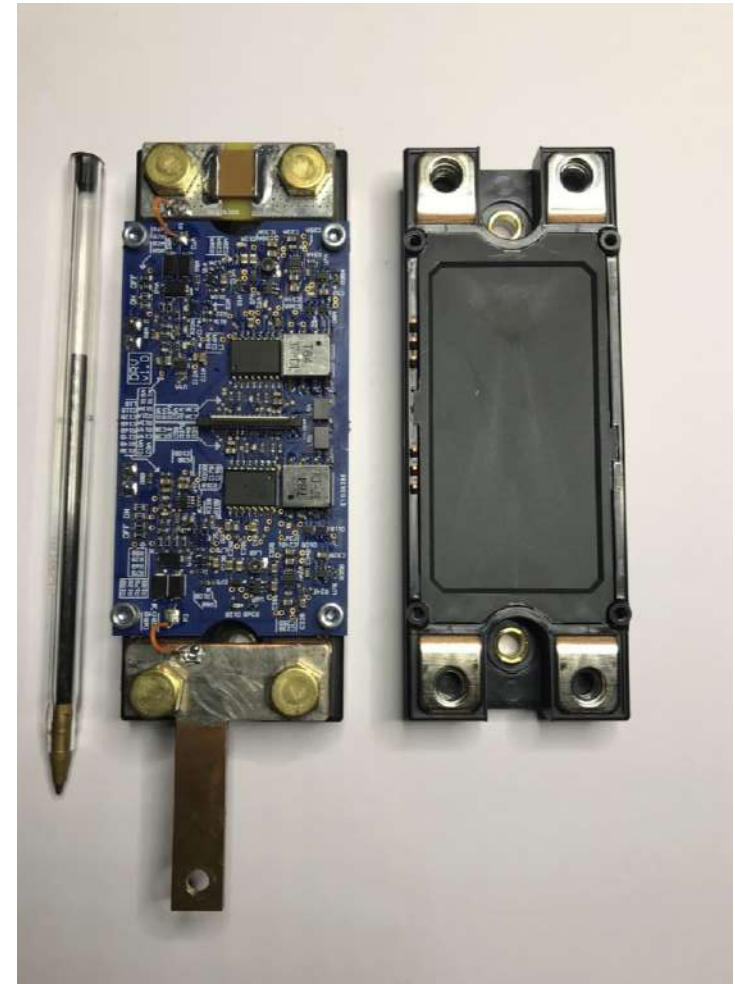
Stima della Temperatura nell'inverter SiC

Power Modules

Modulo di Potenza

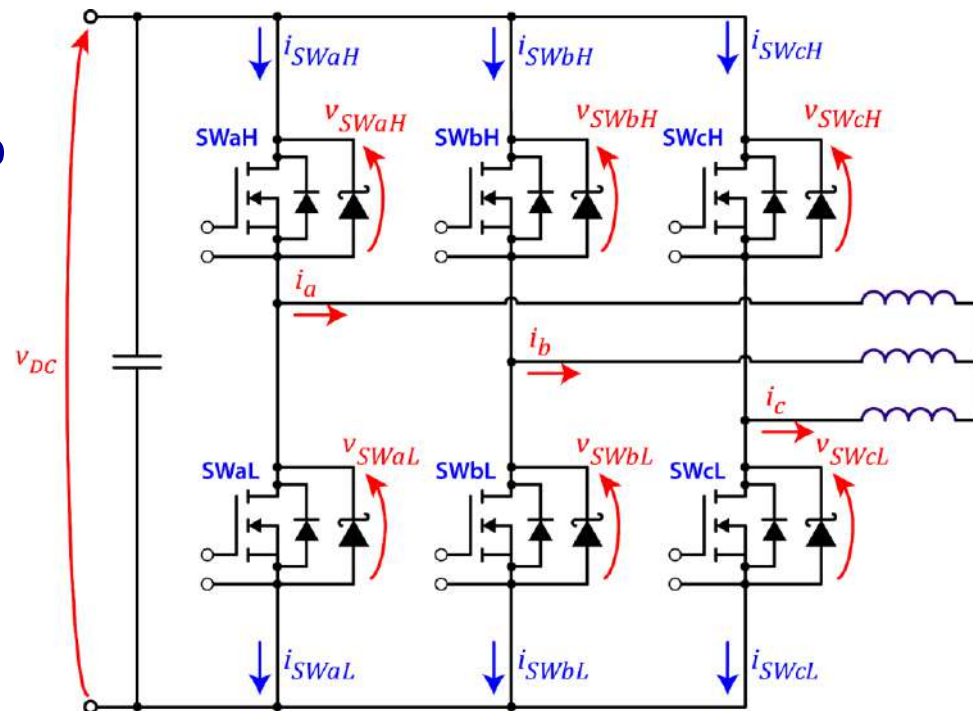
Produttore	ROHM
Modello	bsm180d12p3c007
Corrente nominale ($T_c=60^\circ$)	180 A
Tensione Nominale	1200 V
R_{ON} ($T_j=60^\circ$)	11m Ω
$\theta_{J,max}$	175 $^\circ\text{C}$

- MOSFETs SiC
- Diodi SiC antiparallelo
- Modulo Half-bridge

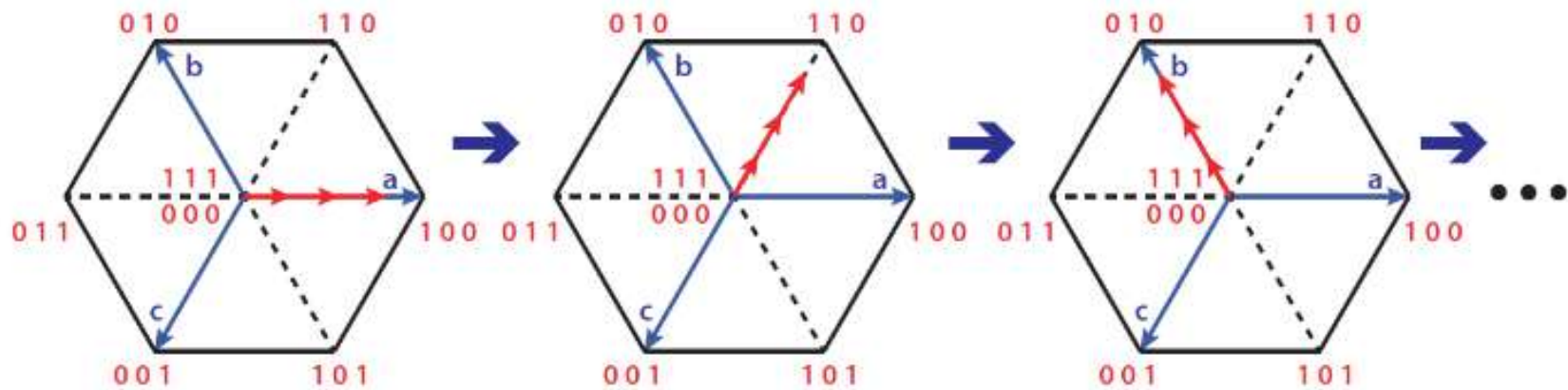


Racing Team Prototype

- Le grandezze **indicate in rosso** vengono misurate a ogni periodo PWM
- Rispetto a un convertitore classico vi è a misura tensione di conduzione dei MOSFET e dei diodi
- In questo caso il **diodo SiC** in anti-parallelo modifica la risposta per correnti negative



Commissioning Inverter Trifase

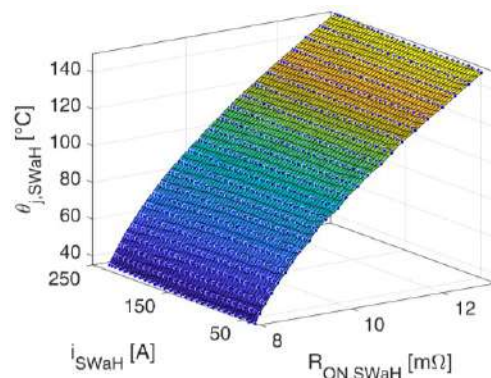


- Il dissipatore del convertitore viene preriscaldato fino a 150°C per poi essere lasciato raffreddare naturalmente
- Mano a mano che il dissipatore si raffredda degli impulsi di corrente di breve durata (100 μ s) vengono comandati su ciascuno dei sei assi dell'inverter
- Questo permette di "mappare" tutti i MOSFET e i diodi dell'inverter

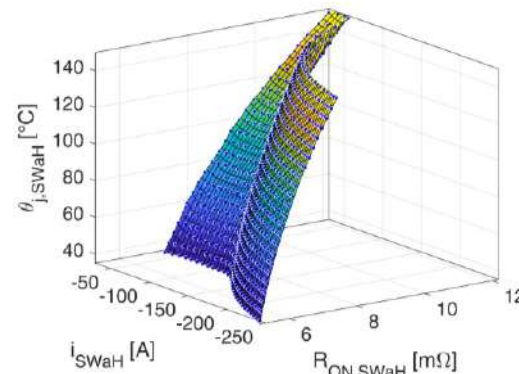
Risultati: Mappa di Temperatura

MOSFET

$$\theta_{junction}(R_{ON}, I_{DS} > 0)$$



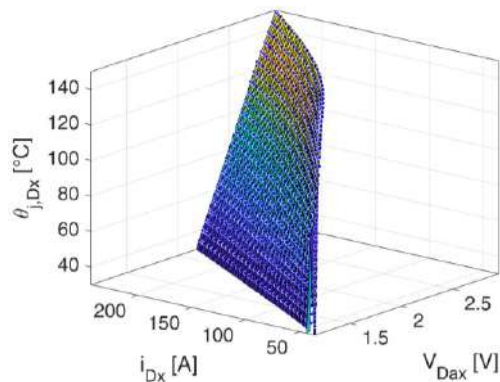
$$\theta_{junction}(R_{ON}, I_{DS} < 0)$$



x6

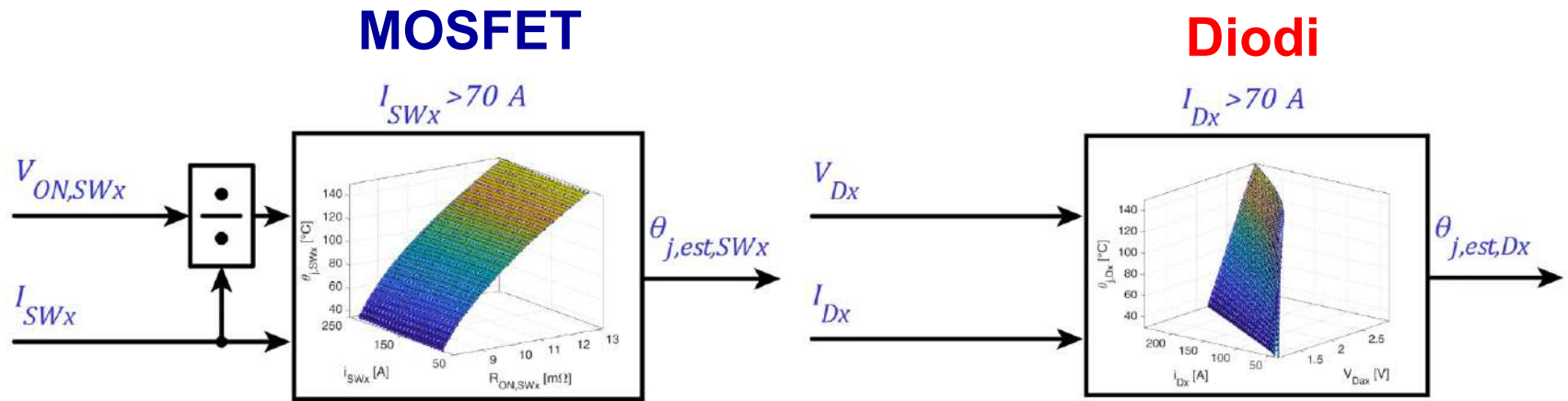
Diodo

$$\theta_{junction}(V_{AK}, I_A > 0)$$



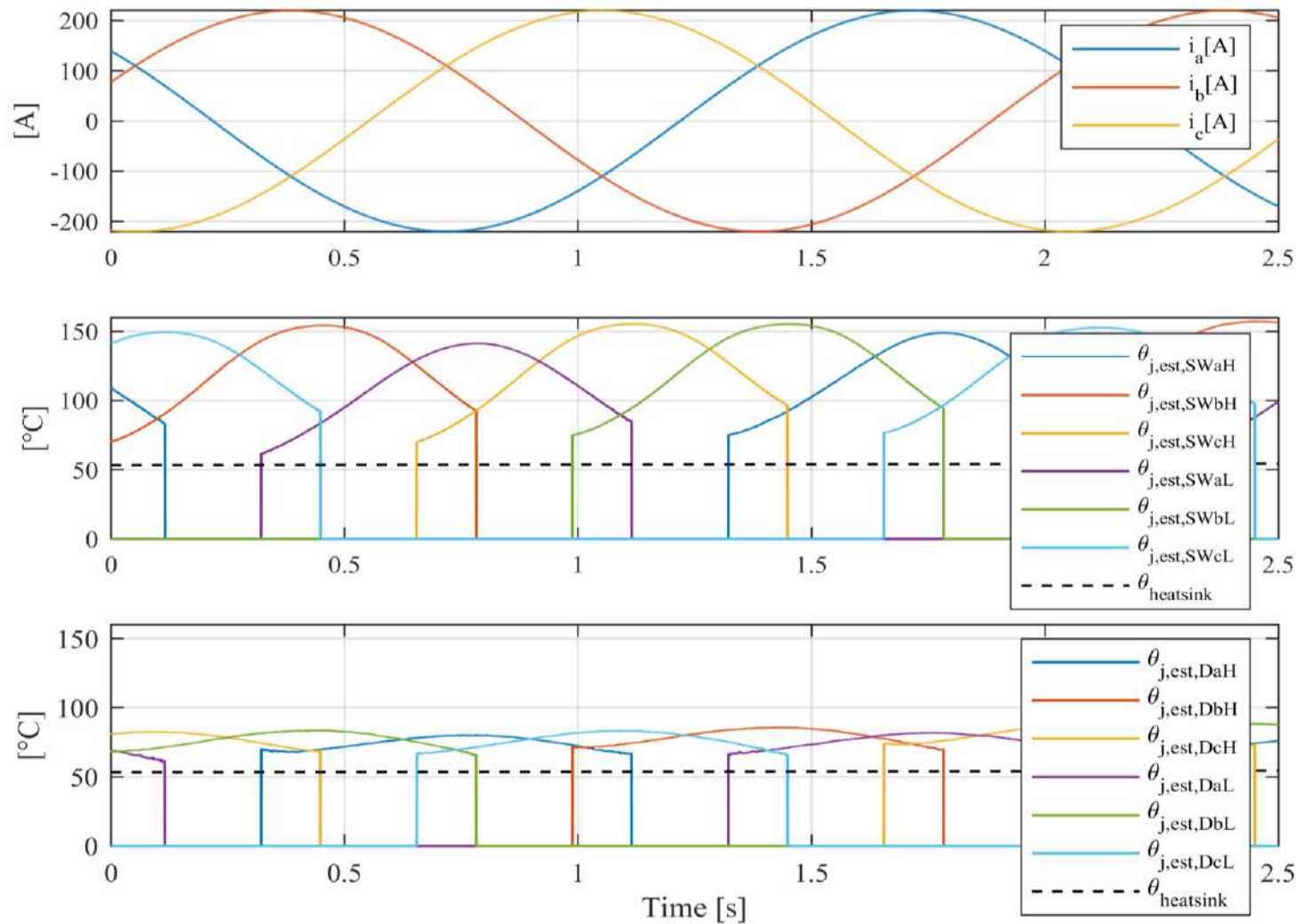
x6

Stima di Temperatura On-line

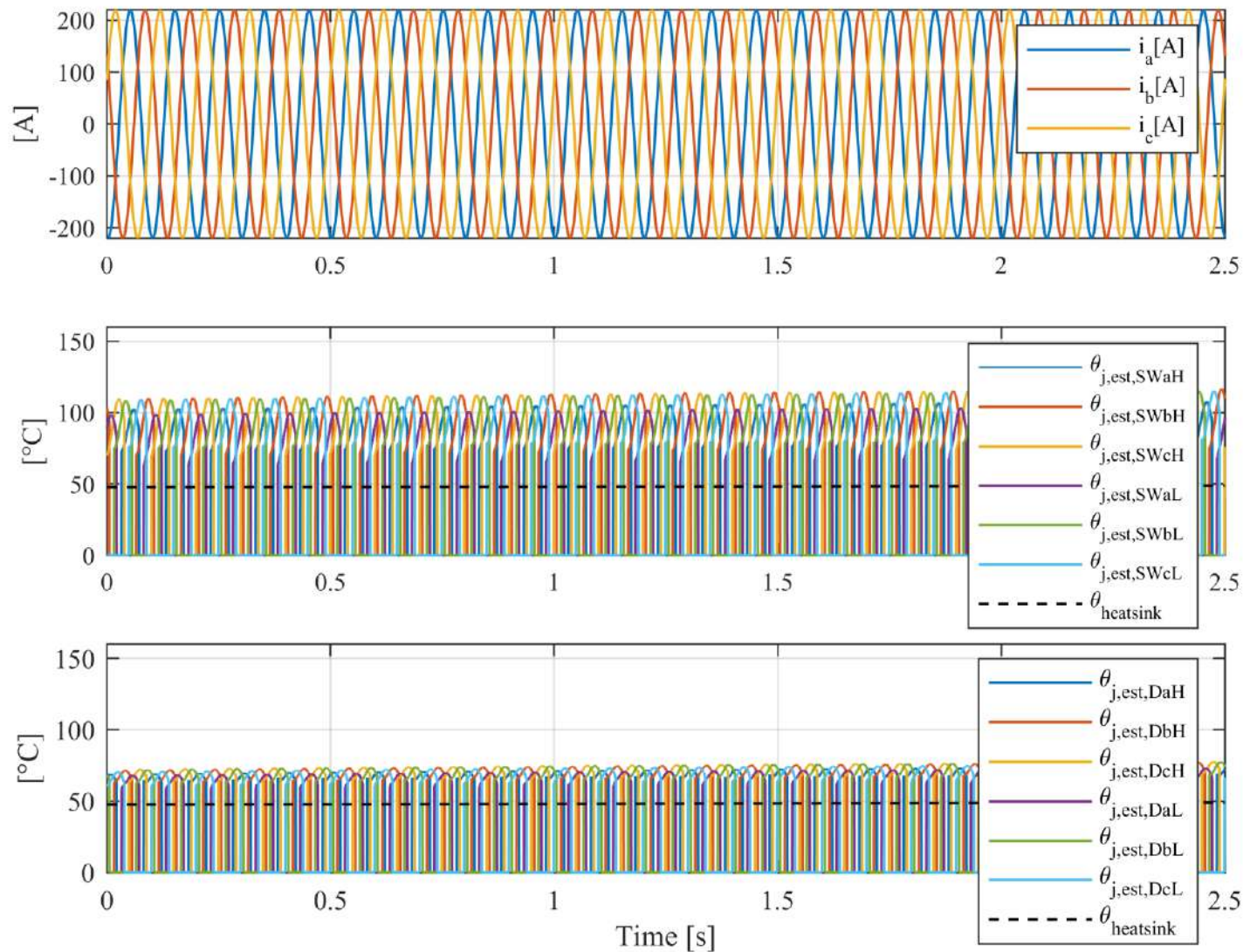


- Si misurano corrente e tensione di conduzione del MOSFET, e si entra nella tabella ricavata **durante la fase di commissioning**, grazie alla quale è possibile ottenere una stima della temperatura di giunzione
- E' possibile ottenere una nuova stima di temperatura ad **ogni periodo PWM**

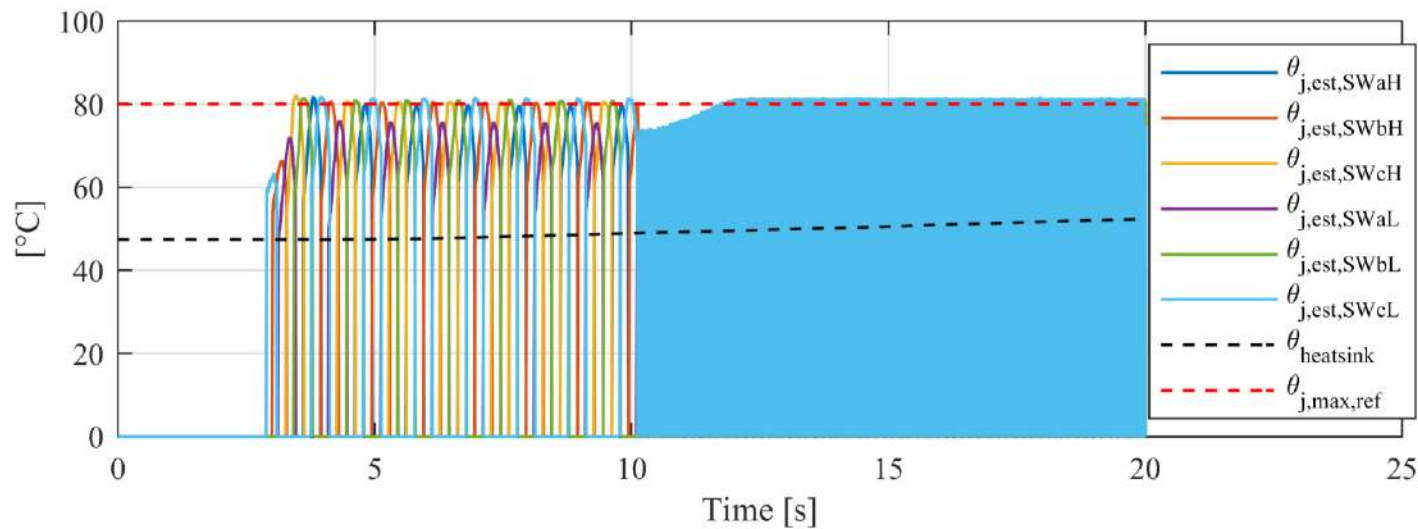
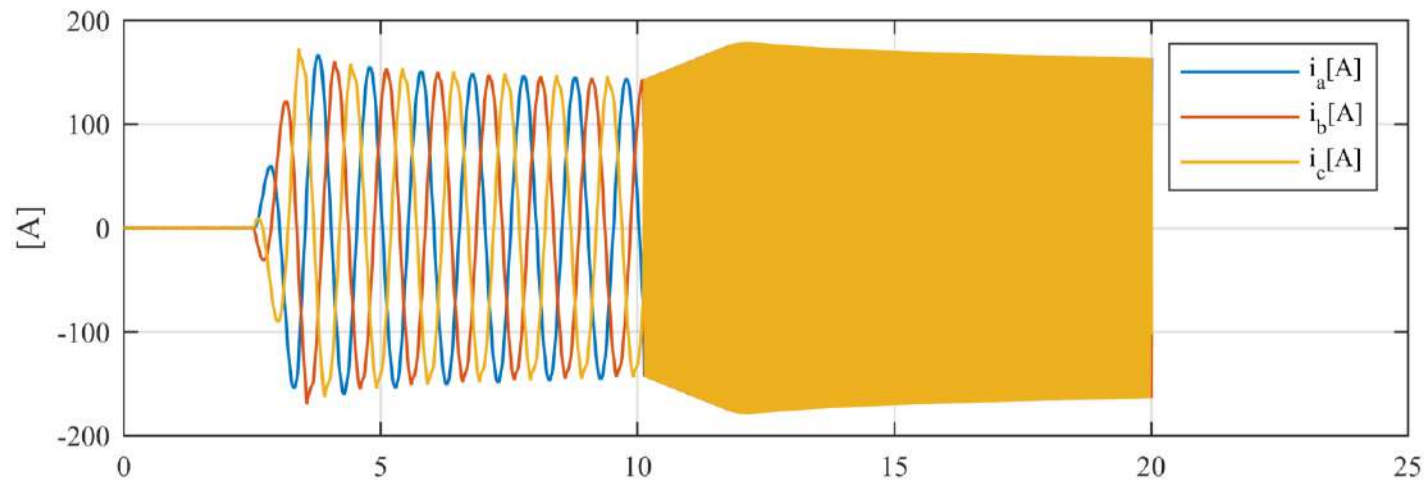
Stima di Temperatura (220 Apk, 0.5 Hz)



Stima di Temperatura (220 Apk, 10 Hz)



Limitazione Temperatura di Giunzione



Conclusioni: Stima di Temperatura

- L'inverter ha a disposizione la stima di temperatura di tutti i MOSFET e diodi con **alta dinamica**; è quindi possibile andare a limitare attivamente la massima temperatura di giunzione
- Sia la misura della V_{ON} che il commissioning iniziale sono integrabili in qualunque convertitore per la trazione o industriale, tuttavia è necessario portare il dissipatore ad **alte temperature** per la caratterizzazione
- Nella configurazione trifase, la stima di temperatura per correnti negative è perturbata dalla presenza del **diodo in antiparallelo**



**POLITECNICO
DI TORINO**



SiC Inverter Design Practices

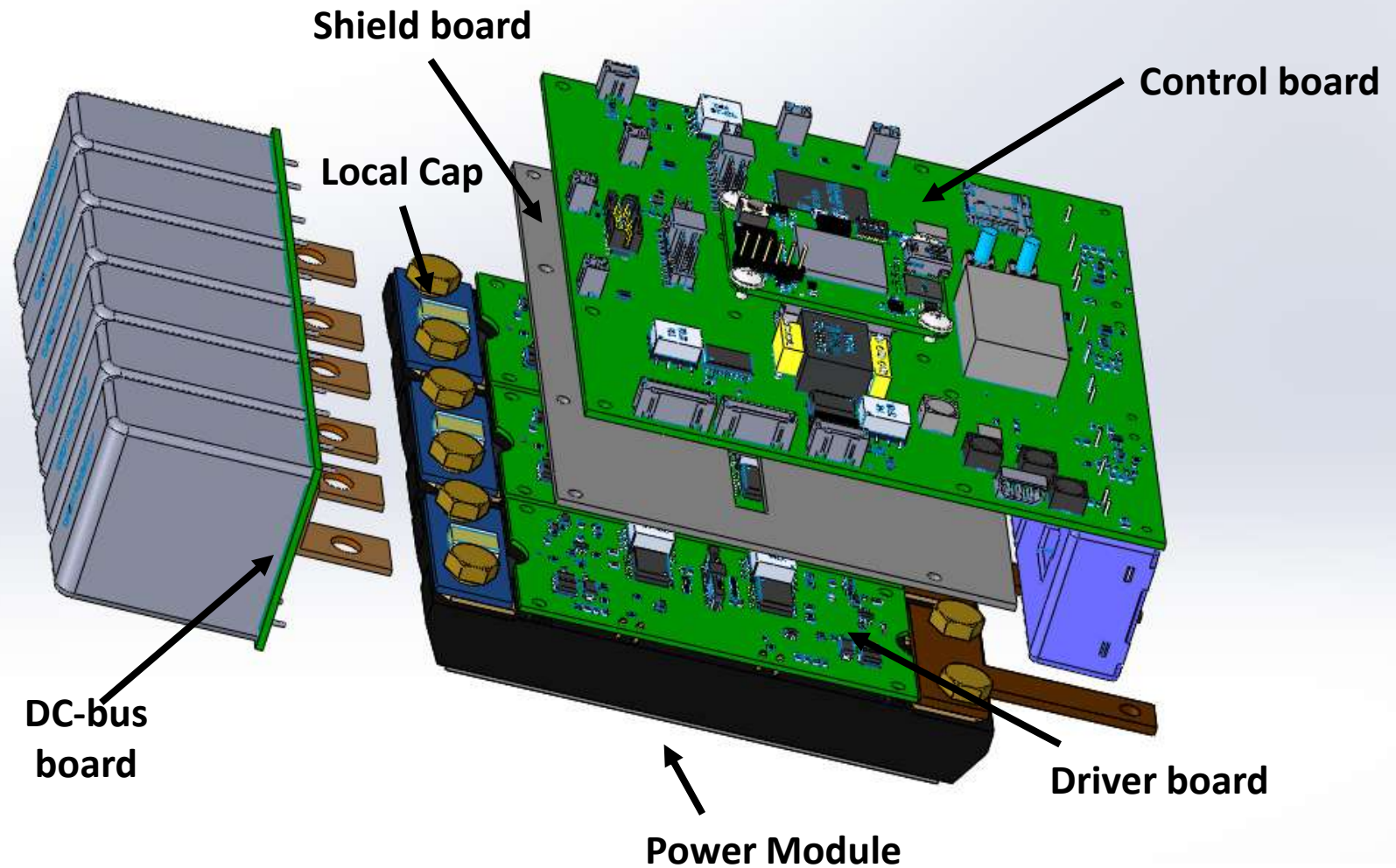
Soluzioni **NON implementabili** su autovettura SC:

- Aggiunta di elementi reattivi
- Rallentare commutazioni
- Inverter vicino al motore

Soluzioni **implementabili** su autovettura SC:

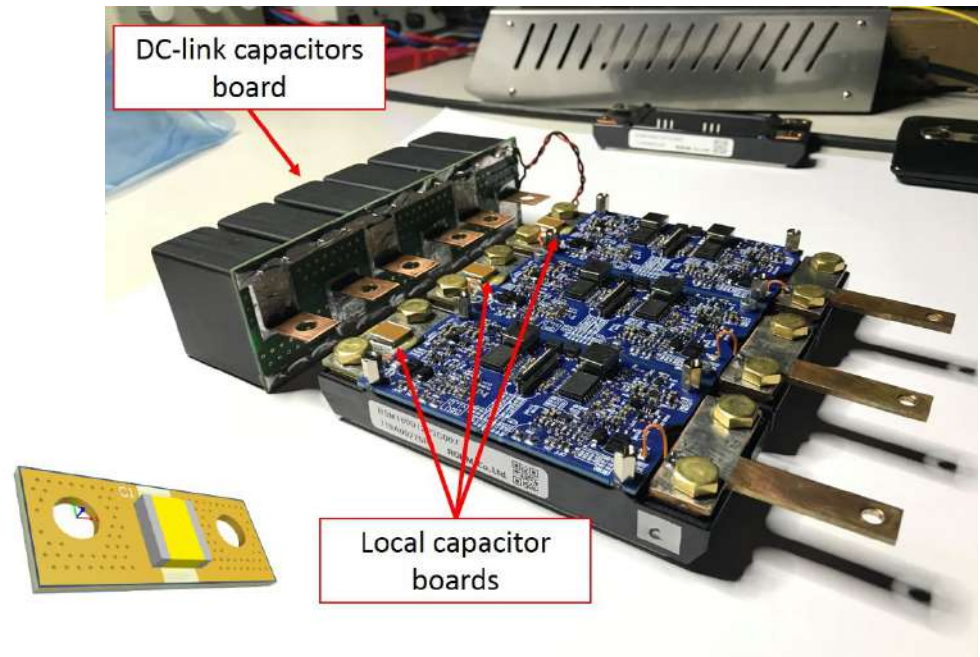
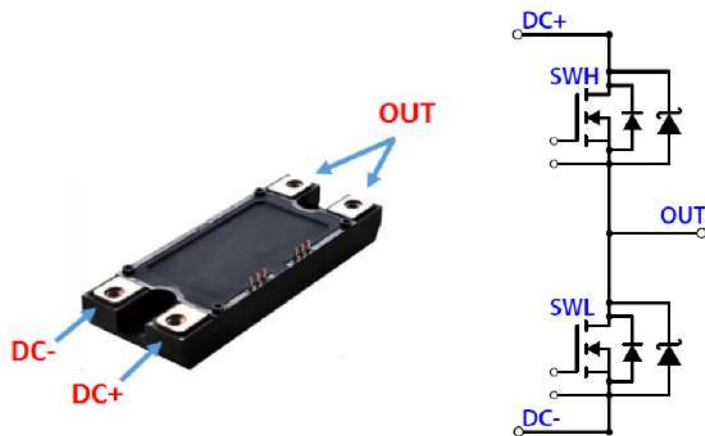
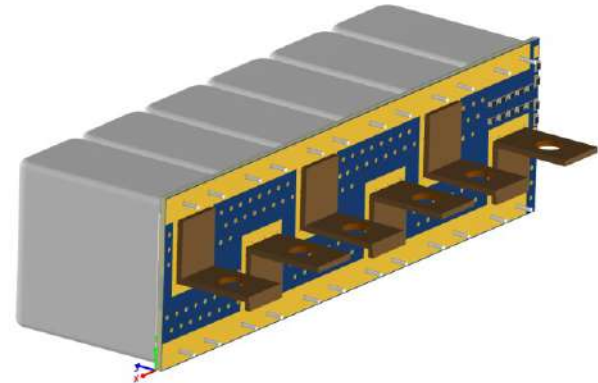
- Utilizzo cavi schermati
- Housing convertitore schermato
- Aumentare immunità dei sistemi ausiliari (inverter e autovettura)
- Pratiche "Good Design"

Inverter Assembly



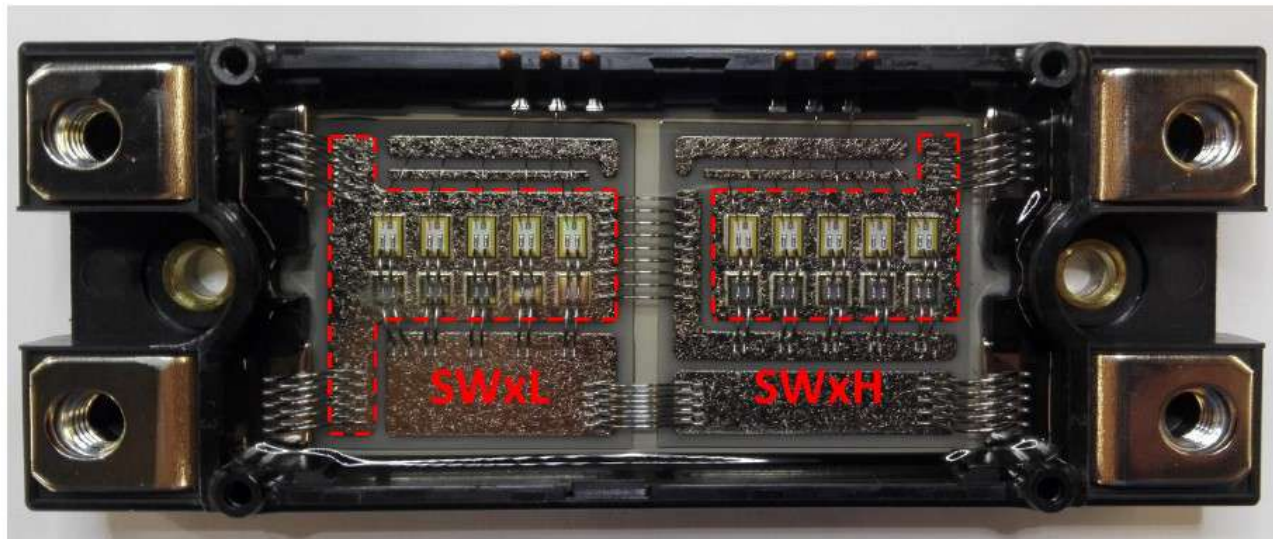
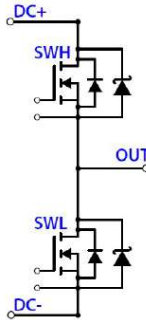
Minimizzazione Della Maglia di Commutazione

- 6 x 20 μF capacità poliestere
 $f_{\text{resonance}} \approx 20\text{kHz}$
- 3 x 300 nF capacità ceramica
 $f_{\text{resonance}} \approx 20\text{MHz}$



Minimizzazione Della Maglia di Commutazione

- I moduli di potenza in commercio non sono progettati per essere impiegati con WBG quali i SiC
- E' difficile ottenere die SiC con elevato grado di purezza



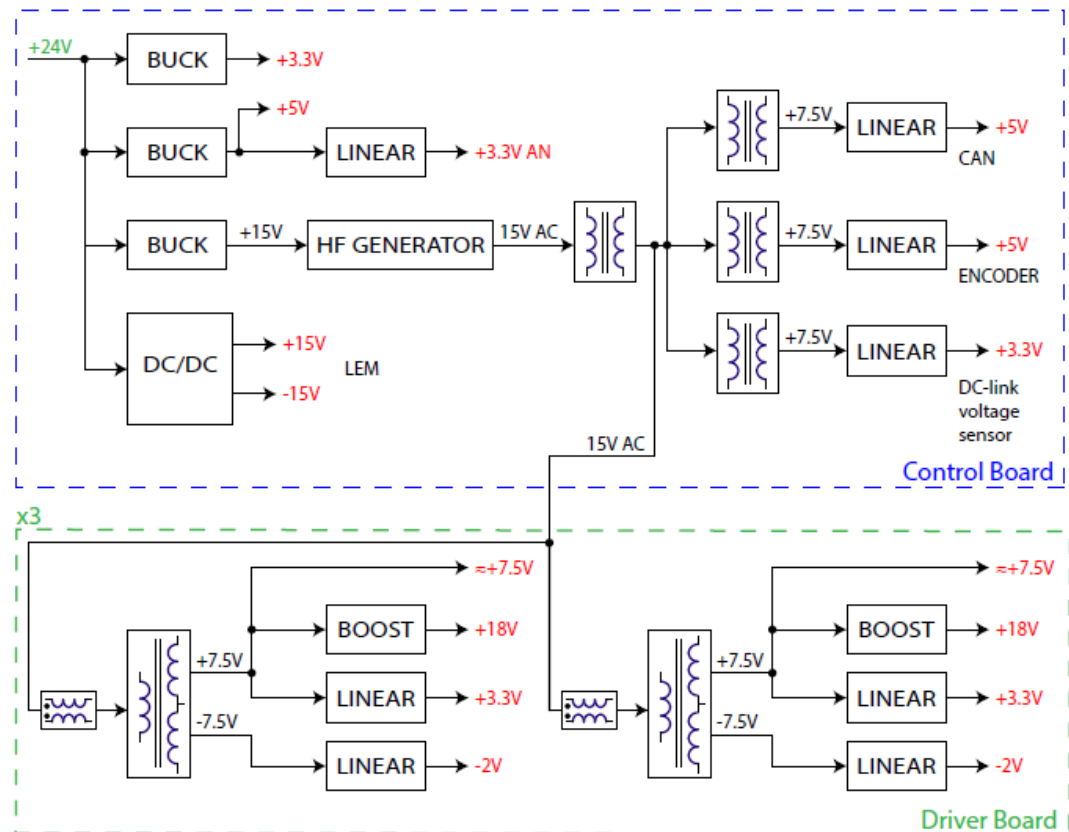
Shield Board

- La shield board è interposta tra scheda di controllo e schede driver.
- Può essere lasciata 'flottante' o può essere connessa resistore/induttore a diversi potenziali (es control ground, power ground....).



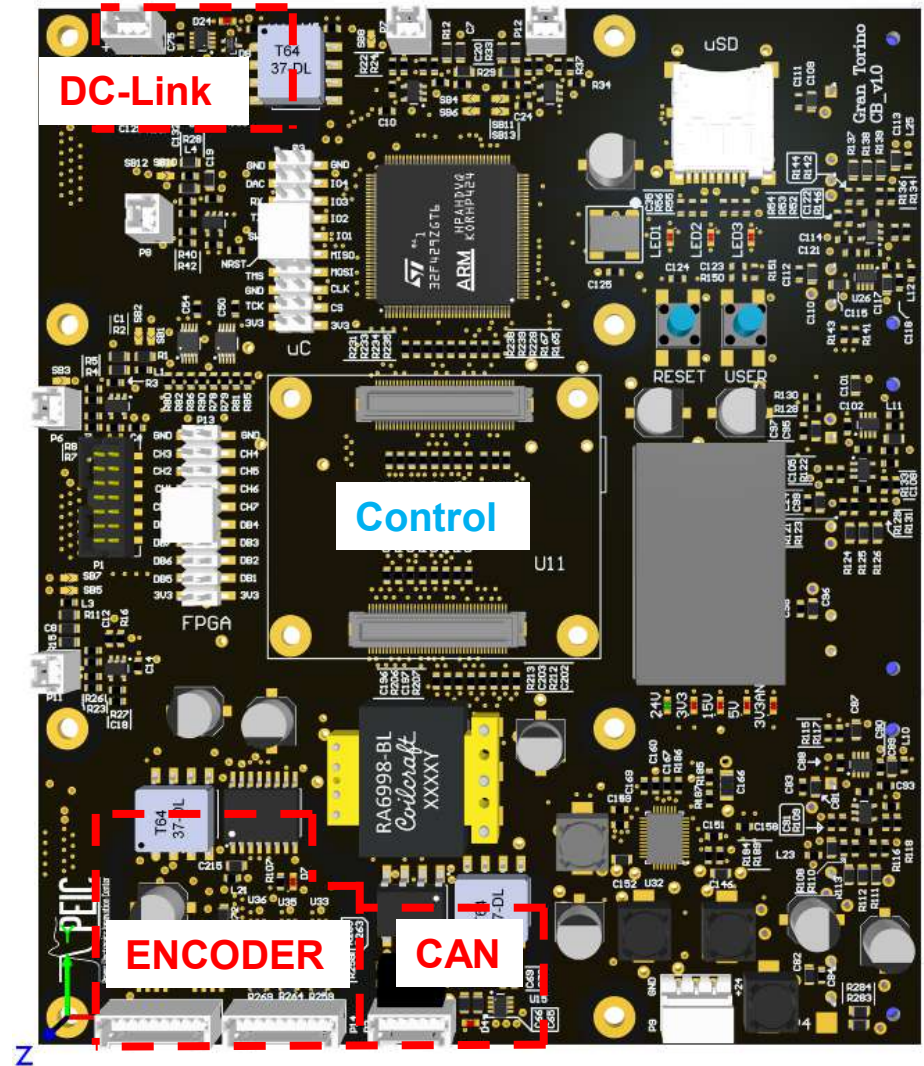
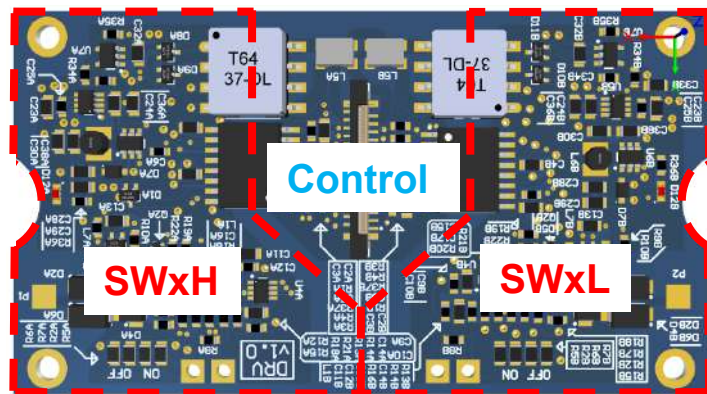
Alimentazioni Sistemi Ausiliari

- Alimentazione sistemi ausiliari fornita da batteria a 24 V a bordo veicolo.
- Diversi livelli di tensione per alimentare le varie parti del sistema
- Generatore HF per sistemi che richiedono isolamento galvanico



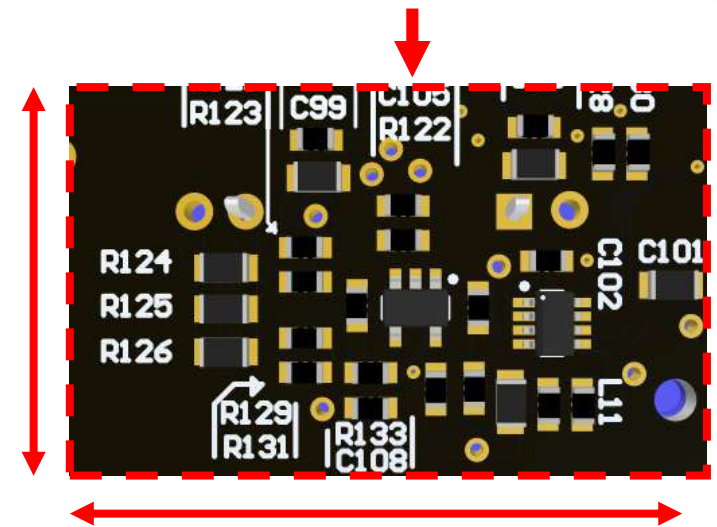
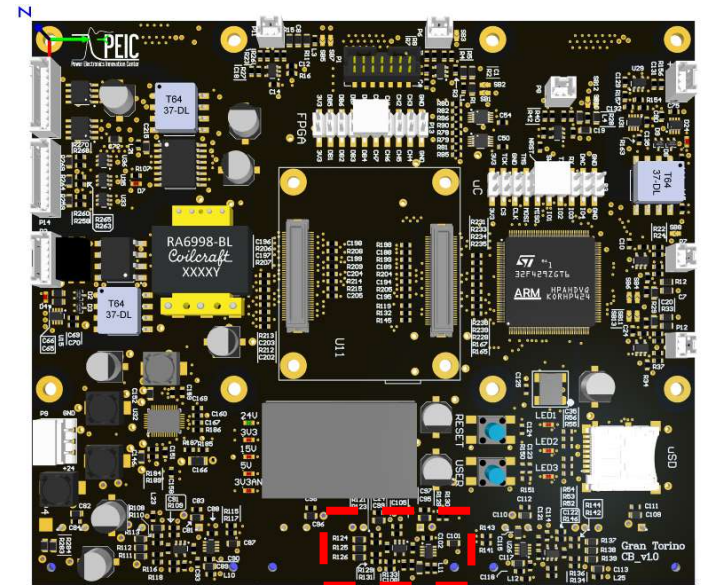
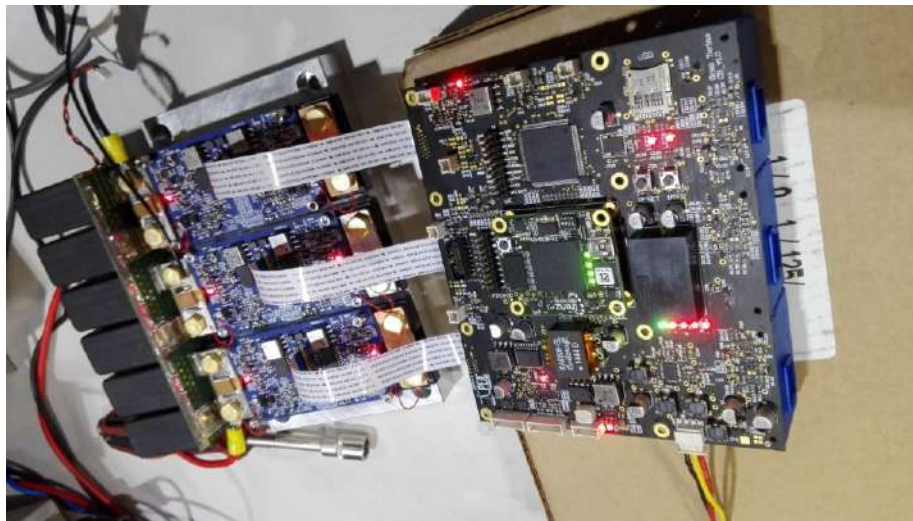
Isolamento Galvanico

- Diversi sistemi a bordo scheda necessitano di isolamento galvanico
- E' importante mantenere i piani di massa separati e evitare la propagazione dei disturbi dovuta a periferiche esterne



Layout PCB

- E' necessario curare la disposizione dei componenti sul PCB
- Bisogna prestare massima attenzione ai sistemi di misura e alle alimentazioni
- Si utilizzano convertitori ADC locali in prossimità delle grandezze da misurare invece degli ADC del microcontrollore



15x25 mm

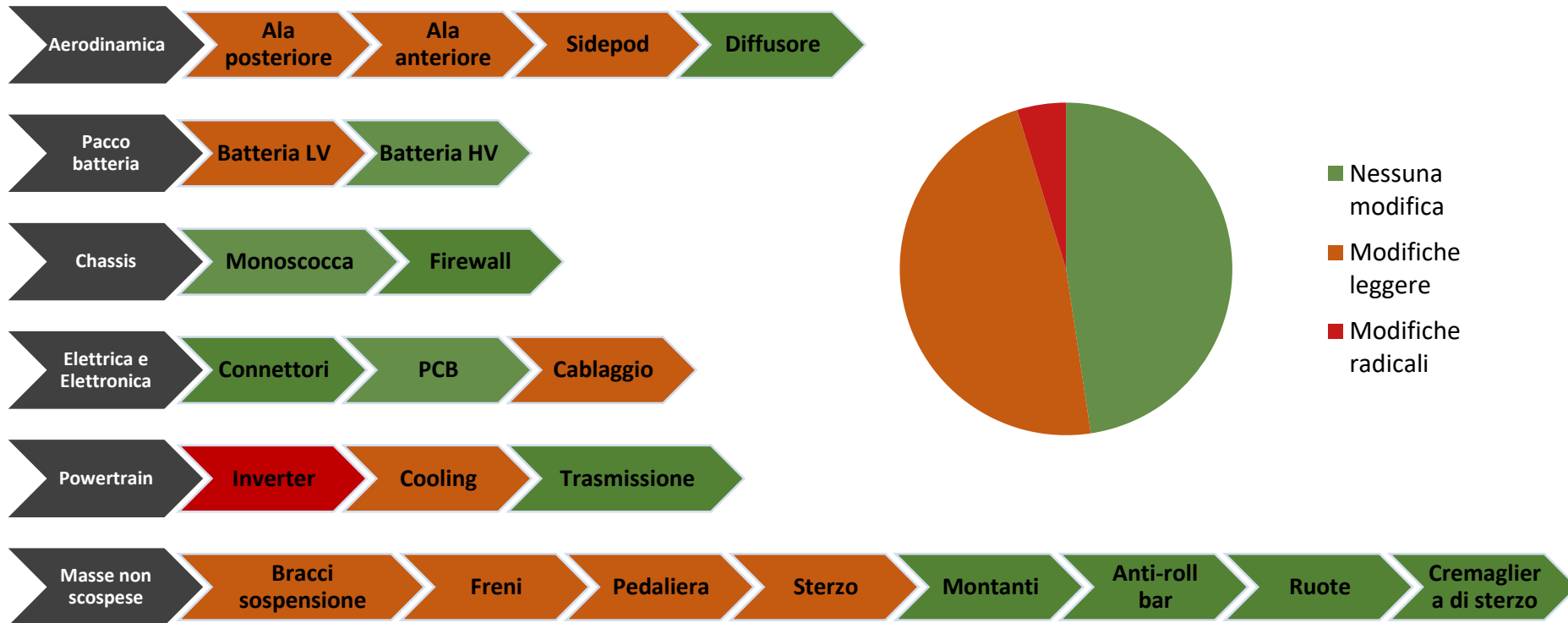


**POLITECNICO
DI TORINO**



Conclusioni

- L'inverter rappresenterà una delle modifiche più importanti e radicali per l'autovettura SC 2020.



Conclusioni

Grazie all'adozione dell'inverter SiC, la Squadra Corse Polito avrà a disposizione:

- Flessibilità di layout nel veicolo
- Un powertrain con centralina aperta, totalmente configurabile a seconda della gara e dello sviluppo vettura durante la stagione
- Un controllo motore con maggiore risoluzione temporale (20 kHz invece di 8 kHz)
- Maggiore efficienza, grazie all'uso dei SiC ed all'adozione di mappe motore ottimizzate (utile per gara di endurance, ma anche in max accelerazione)
- Possibilità di massimo sfruttamento dell'inverter in sovraccarico transitorio, grazie alla stima on-line di temperatura (utile per la gara di max accelerazione)



**POLITECNICO
DI TORINO**



Grazie per l'attenzione!

fausto.stella@polito.it



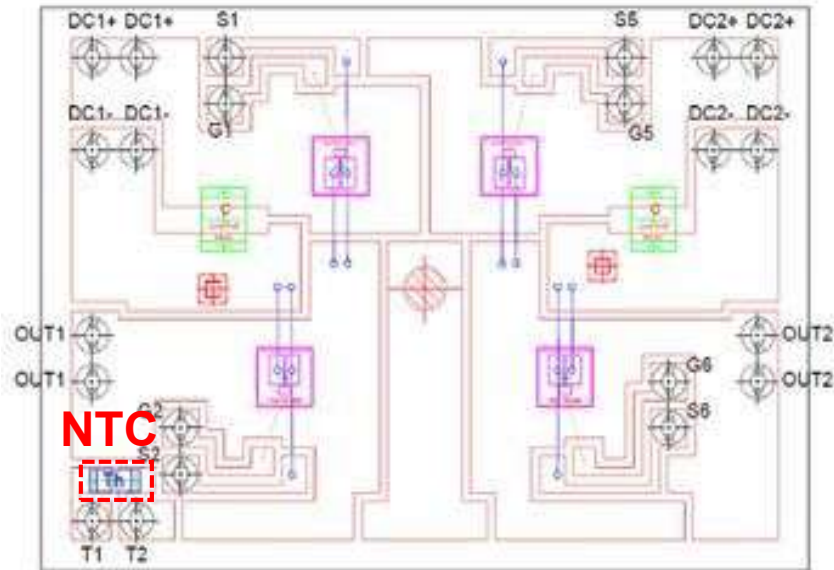
**POLITECNICO
DI TORINO**



Stima di Temperatura (220 A, 10 Hz)



Modulo SiC Mosfet



Power Module #1 (from Datasheet)

Corrente nominale ($T_{\text{sink}}=80\text{ }^{\circ}\text{C}$)	19 A
Tensione nominale	1200 V
R_{ON} ($T_j=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, 20 A)	78 m Ω
C_{internal}	2 x 47 nF
$\theta_{J,\text{max}}$	175 $^{\circ}\text{C}$
Termistore NTC	N °1

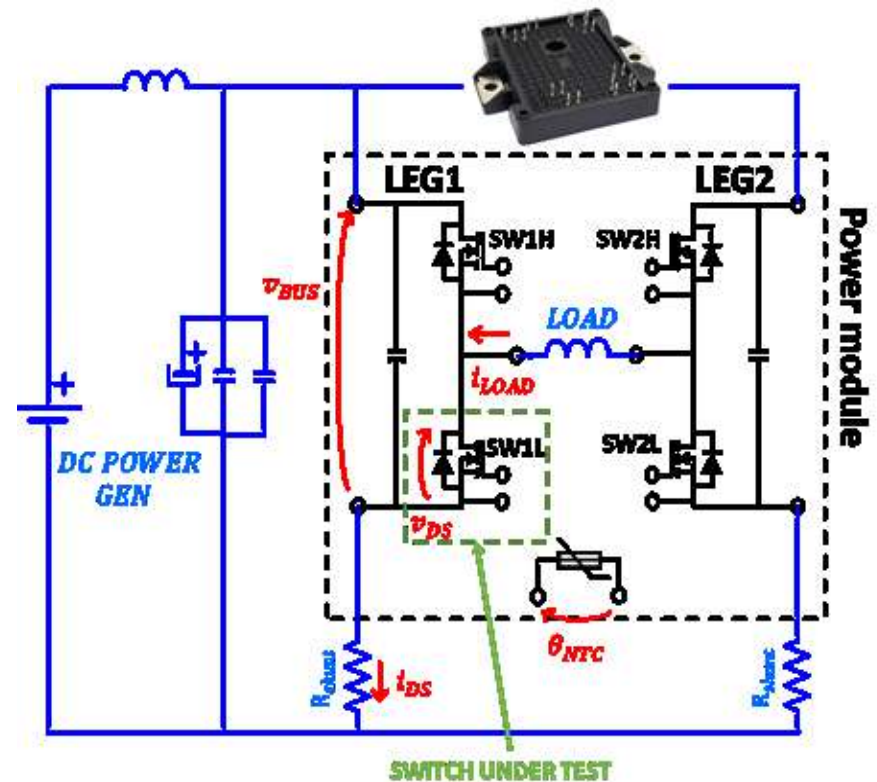
- Quattro MOSFETs SiC per modulo
- Un sensore NTC integrato per modulo
- Condensatori integrati per la minimizzazione dell'induttanza di maglia



EMIPAK-2B
(package example)

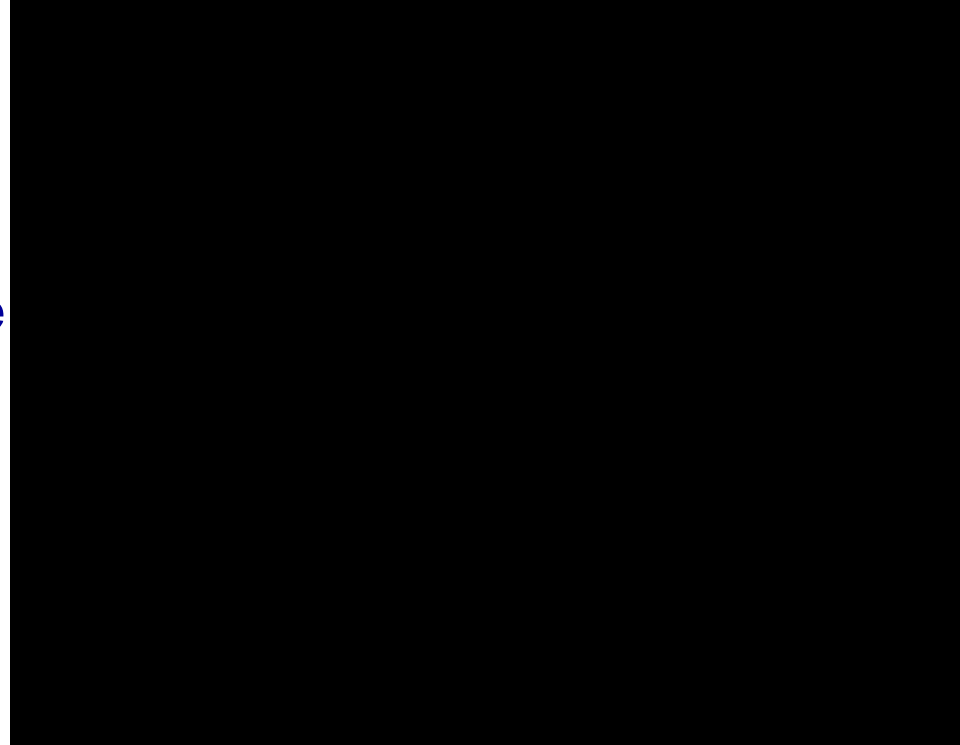
H-Bridge Rigenerativo

- H-Bridge con carico **induttivo**:
monitor su "switch under test" SW1L
- **LEG1** controllata in anello aperto
- **LEG2** controllata in anello chiuso di corrente
- Si emulano le **condizioni operative** andando ad assorbire solo la quota di energia relativa alle perdite
- La misura della V_{ON} di SW1L permette di caratterizzare il modulo in corrente e temperatura



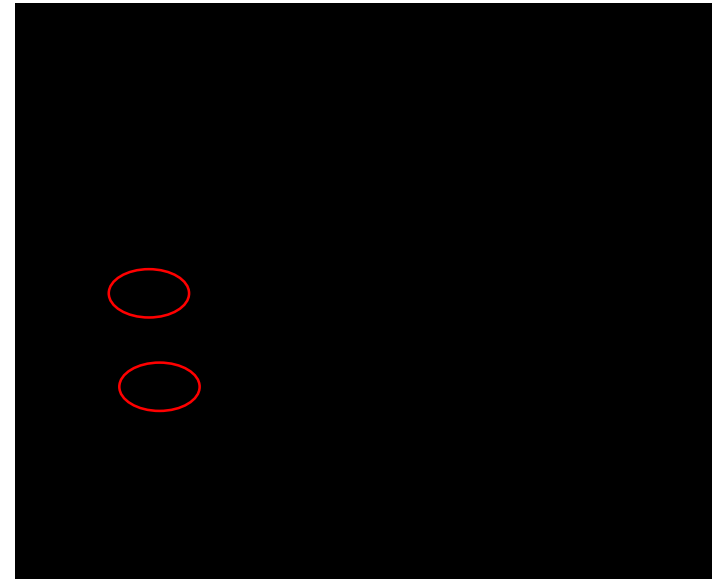
Circuito di Misura della V_{ON}

- Il sistema di condizionamento analogico è costituito da un amplificatore operazionale con **banda elevata**
- **Due diodi** si occupano di proteggere il sistema di misura durante lo stato di OFF
- I due diodi sono polarizzati direttamente tramite l'iniezione di una **corrente calibrata**



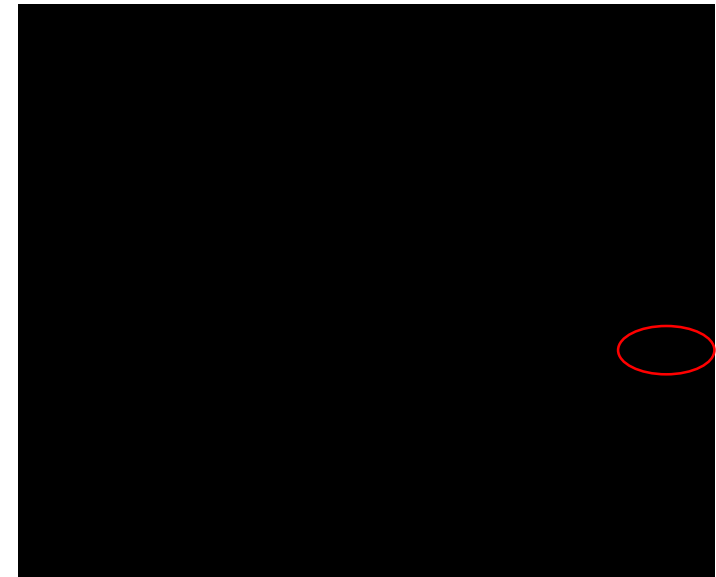
Tensione di Forward dei Diodi

- I due diodi vengono polarizzati con la **stessa corrente** e un'eventuale differenza nella **tensione di forward** può essere compensata durante la fase di calibrazione
- Grazie alla loro **vicinanza** i due diodi possono essere considerati alla stessa temperatura, in questo modo è possibile eliminare la dipendenza della tensione di forward dalla temperatura

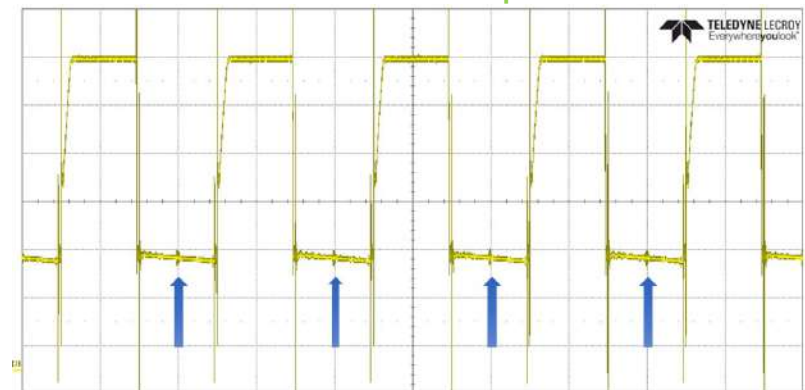


Prestazioni Dinamiche Sistema di Misura

- Il sistema di misura deve essere sufficientemente **veloce** in modo da consentire il corretto campionamento della V_{ON} anche quando il tempo di conduzione è corto.
- Il tempo di assestamento dell'uscita analogica per questo set-up è intorno ai **$3\mu\text{s}$** , che corrisponde a una frequenza di switching massima di 80 kHz con duty cycle pari a 0.5



$V=1\text{V/div}$ $t=25\mu\text{s/div}$

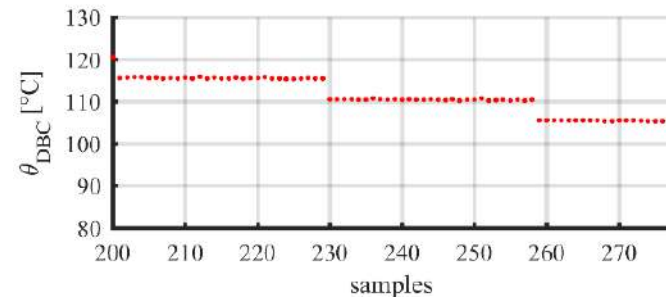
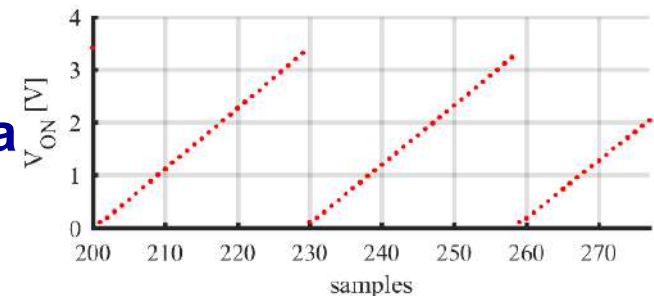
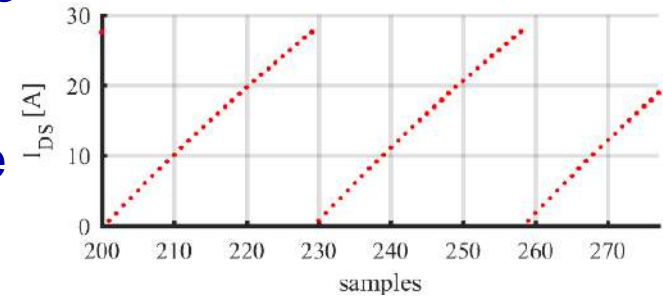


Commissioning del Modulo

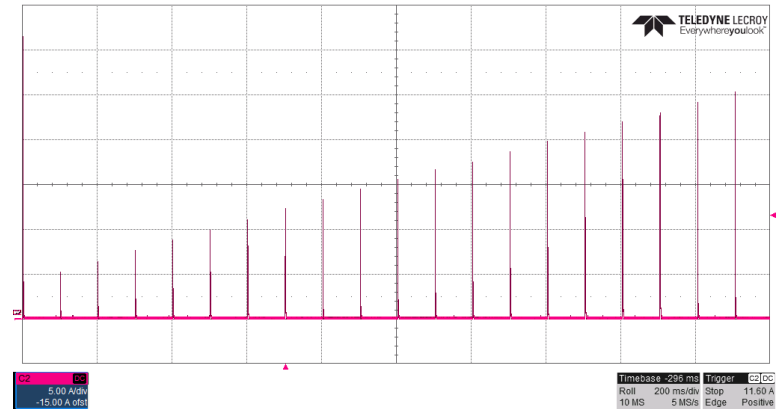
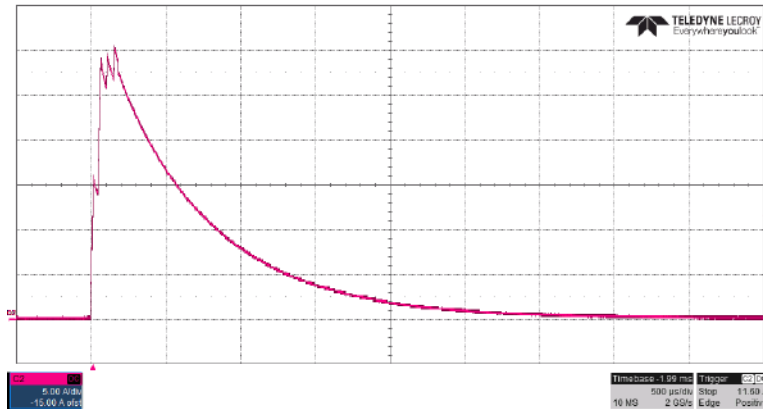
1. Il dissipatore viene preriscaldato a 145°C e poi lasciato raffreddare
2. Si controlla una serie di impulsi di corrente di breve durata (<100us) da 1 A a 28 A e si registrano i valori di i_{DS} e v_{ON}

La breve durata degli impulsi garantisce che la temperatura di giunzione e la lettura della NTC coincidano

3. Si ripete una nuova serie di impulsi ogni volta che la temperatura scende di 5 °C



Impulsi di Corrente



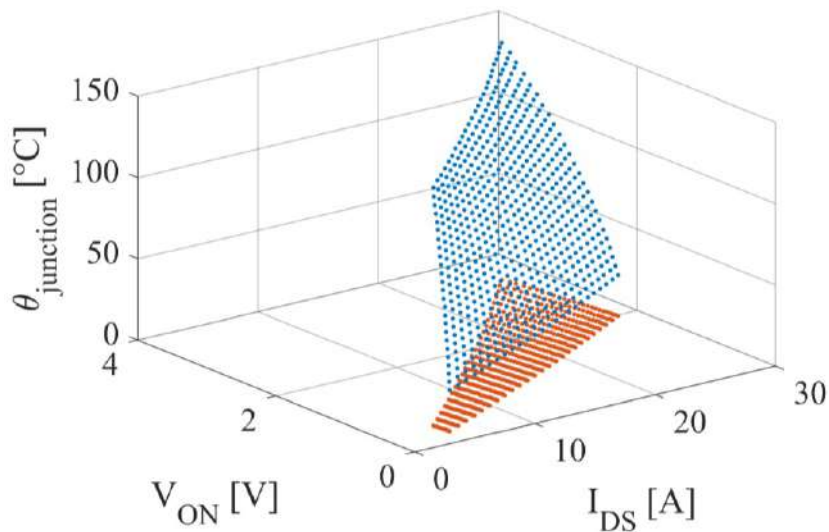
- La breve durata degli impulsi di corrente fa in modo che l'aumento di temperatura di giunzione sia contenuto
- L'impedenza termica di questo modulo per un impulso da 100 μ s è di **0.03 °C/W**, questo fa in modo che anche nel caso peggiore l'aumento temperatura sia inferiore ai 3°C.
- Tra un impulso e l'altro vi è una "fase di riposo" della durata di **100 ms** così da poter considerare gli impulsi **termicamente indipendenti** tra di loro.

Risultati del Commissioning Test

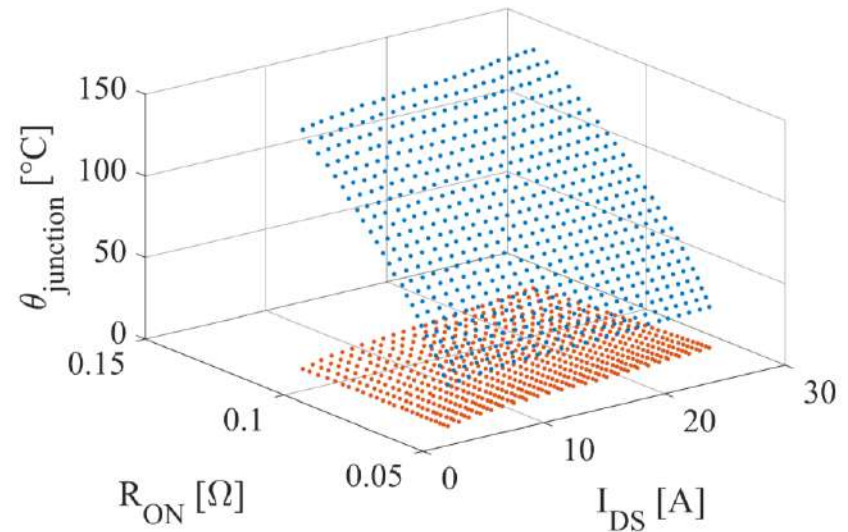
I risultati del commissioning sono riportati sia in funzione di V_{ON} che di R_{ON}

- Si nota che l'uso di R_{ON} rende la superficie più facile da interpolare

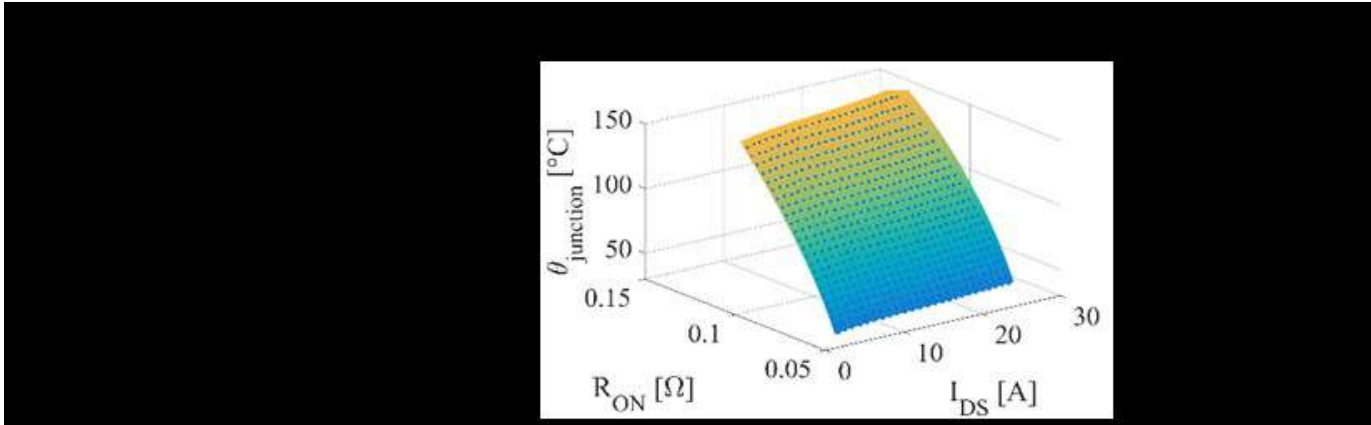
$\theta_{junction}(V_{ON}, I_{DS})$



$\theta_{junction}(R_{ON}, I_{DS})$



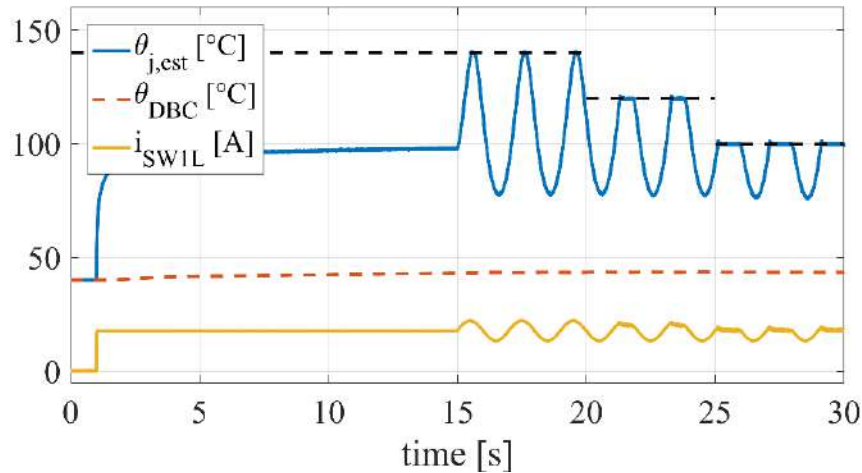
Stima di Temperatura On-line



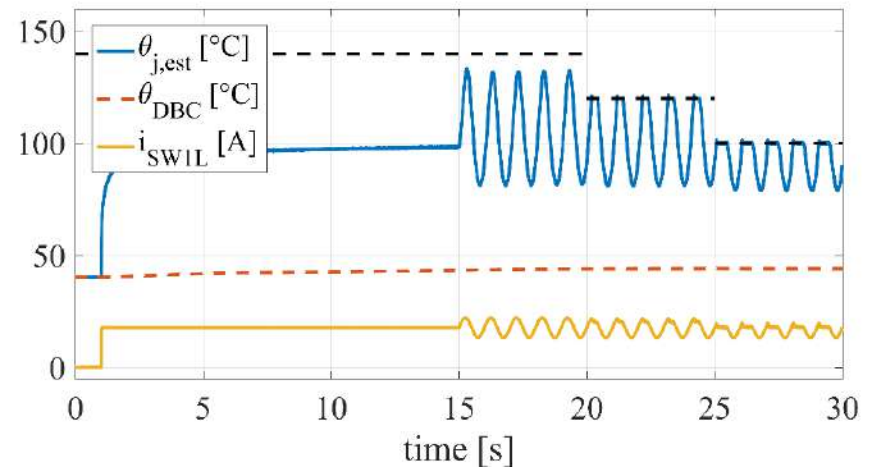
- Si misurano corrente e tensione di conduzione del MOSFET, e si entra nella tabella ricavata **durante la fase di commsioning**, grazie alla quale è possibile ottenere una stima della temperatura di giunzione
- E' possibile ottenere una nuova stima di temperatura ad **ogni periodo PWM**

Stima on-line della Temperatura

Test a 18 A DC + 4 A AC (0.5 Hz)

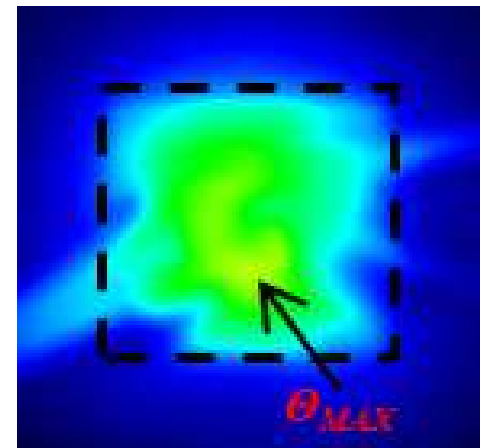
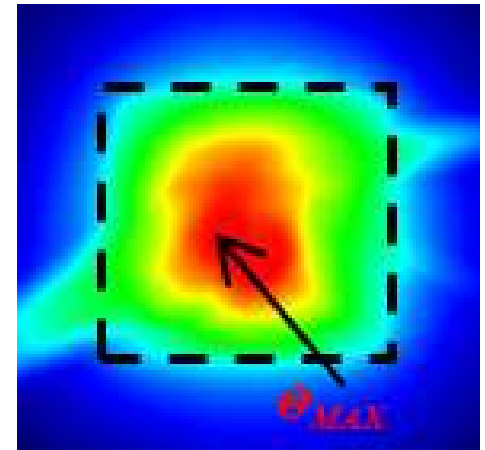
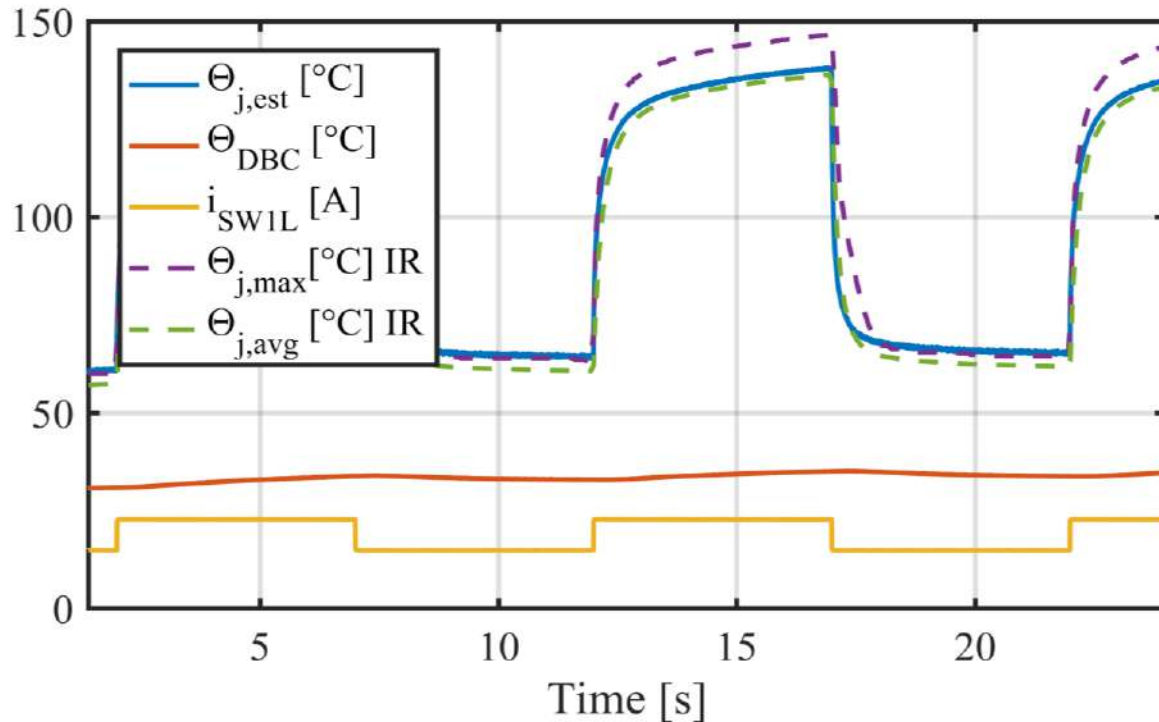


Test a 18 A DC + 4 AAC (1 Hz)



- La temperatura di giunzione segue l'andamento della corrente di carico (DC + AC) con alta dinamica
- La differenza di temperatura rispetto al DBC (lettura NTC) è di 100°C
- In questo esempio la **massima temperatura ammissibile** viene impostata dall'utente e la corrente del carico viene limitata di conseguenza

Validazione con Termocamera IR



- Ottima accuratezza della stima della **temperatura media di giunzione**
- Gradiente di temperatura non uniforme, vi sono degli **hotspot**

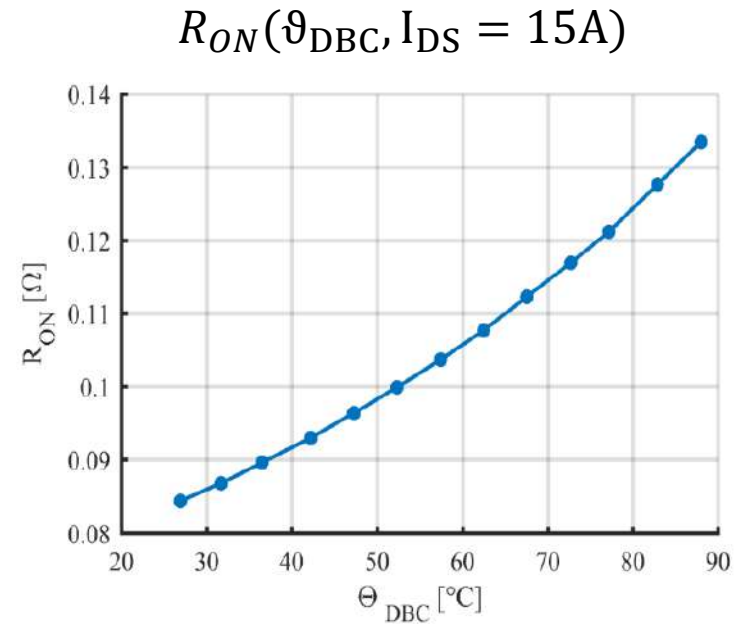
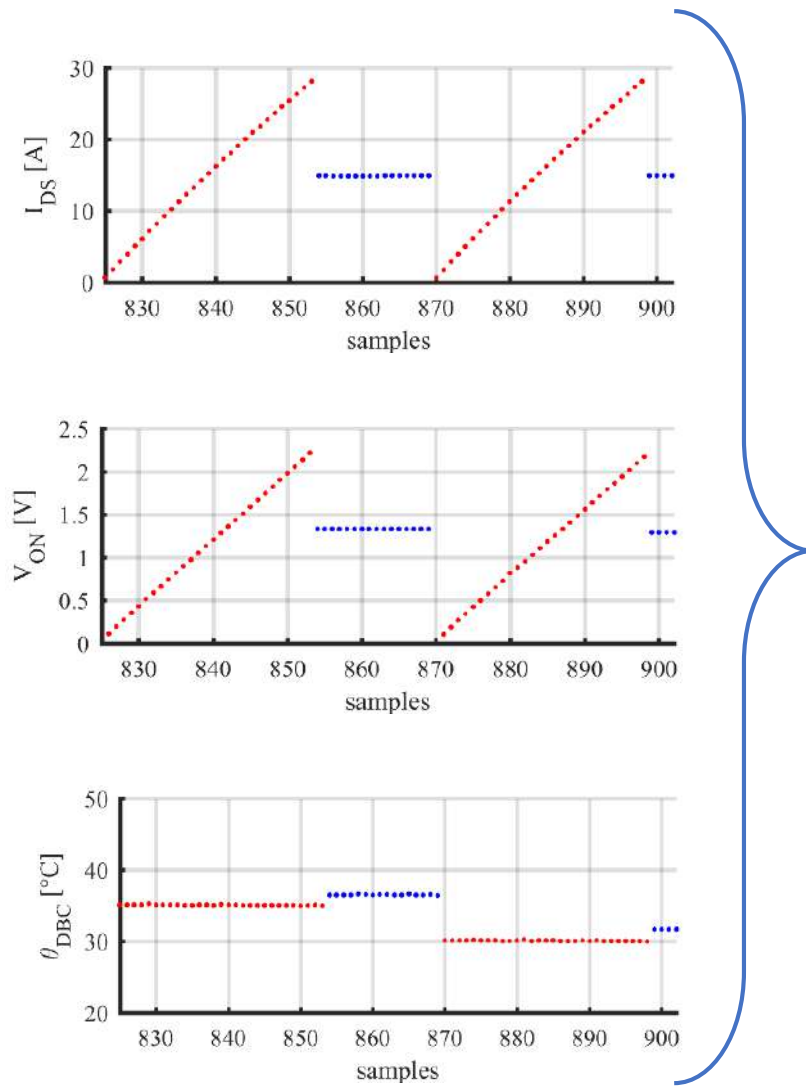


**POLITECNICO
DI TORINO**

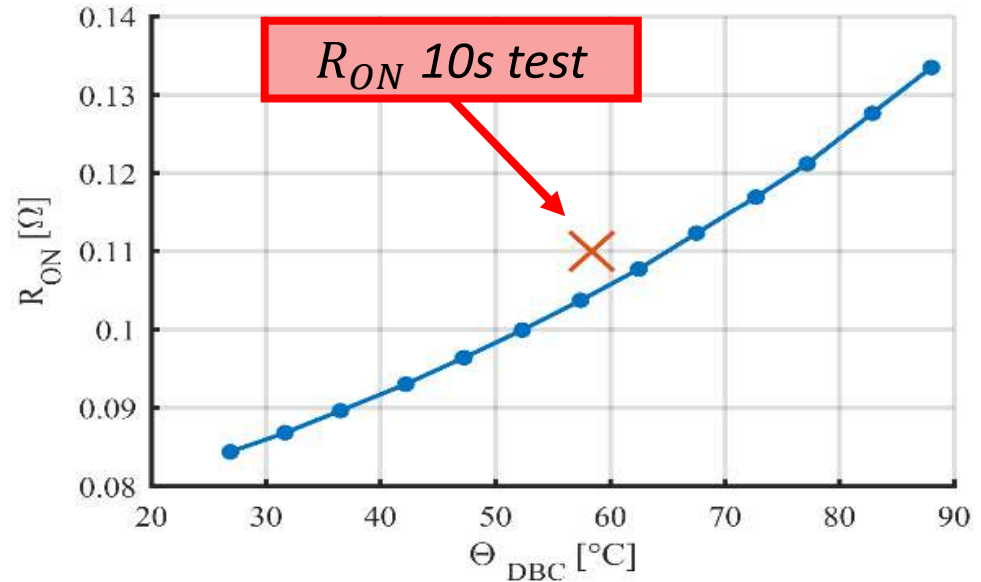
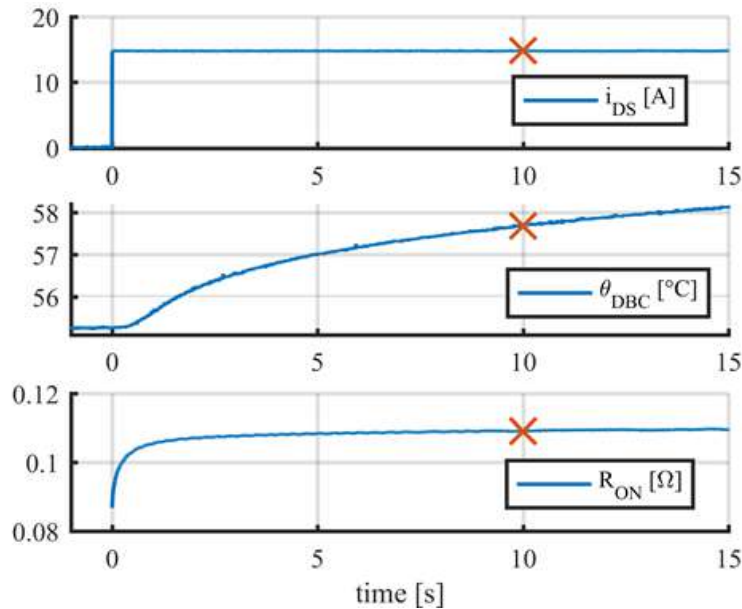


Cicli Termici e Diagnostica

Commissioning della Tabella di R_{ON} a 10s



Dopo 15.000 Cicli Termici



- Si valuta l'**invecchiamento** del modulo imponendo una corrente costante da **15 A** per una durata di **10 secondi**
- Si misurano corrente, tensione e temperatura DBC dopo 10 secondi
- I valori ottenuti vengono **confrontati** con la tabella ricavata durante il commissioning

[1] F. Stella, G. Pellegrino, E. Armando, "Coordinated on-line junction temperature estimation and prognostics of SiC power modules", 2018 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE).

Sponsor della formula SAE

Tutti i grandi protagonisti dell'Industria Automotive sono presenti in Formula SAE e investono energie e risorse importanti nella formazione dei giovani ingegneri del settore.

