

# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

*Alessandro Tassi*



**Applicazioni Magnetiche Srl**

**Via della Chiesa 16 , 29011 Borgonovo Val Tidone (Piacenza) Tel. +39 0523 997490  
info@spinmag.it**

# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

## Attività di Spin Applicazioni Magnetiche Srl

- **Progettazione di dispositivi elettromagnetici**
- **Software per l'analisi elettromagnetica, termica e per la mecatronica**
- **Caratterizzazione di materiali magnetici**

ENGINEERING    PROTOTYPING    TRAINING    MEASURING

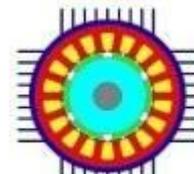
Design of electromechanical devices and mechatronics - characterization of magnetic materials



FLUX 2D - 3D



PORTUNUS



MOTOR-CAD



SPEED



BCS



# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

## Il campo magnetico

Ambito di questo contributo:

*sensori elettromagnetici in bassa frequenza*

# Progettazione e simulazione al calcolatore di sensori elettromagnetici per l'industria

## Cenno storico

- Il campo magnetico è utilizzato come elemento sensibile sin dall'antichità: prima in Cina, poi importato in Europa attraverso gli arabi.

# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

## Cenno storico

- Anni 60-oggi : Sviluppo dell'industria dei semiconduttori
- 1983 : Nuovi magneti permanenti (NdFeB)
- Anni 80-90 : Nuovi materiali ferromagnetici dolci (amorfi, leghe Fe-Ni)
- Anni 80-oggi : richieste dall'industria dell'automazione e automobilistica.

# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

## Principio generale di funzionamento

- L'intensità di campo magnetico (H) e l'induzione magnetica (B) NON sono la stessa cosa.

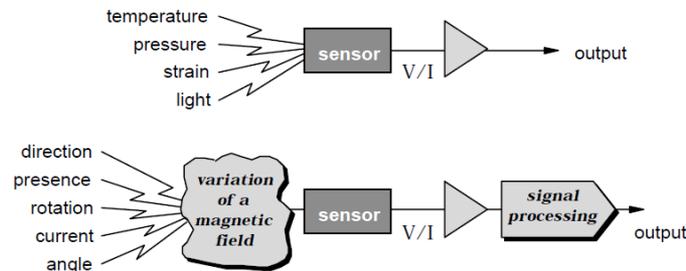
- H si misura in A/m (Oersted), B in Tesla (Gauss)

# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

## Principio generale di funzionamento

La grandezza che si vuole caratterizzare, o una sua variazione, genera una perturbazione nel campo magnetico e di conseguenza una variazione temporanea di stato in un elemento sensibile al campo magnetico. L'elemento sensibile può essere:

- ❖ semiconduttore
- ❖ spira conduttrice di corrente
- ❖ materiali non magnetici (acqua)
- ❖ materiale ferromagnetico



# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

## Principio generale di funzionamento

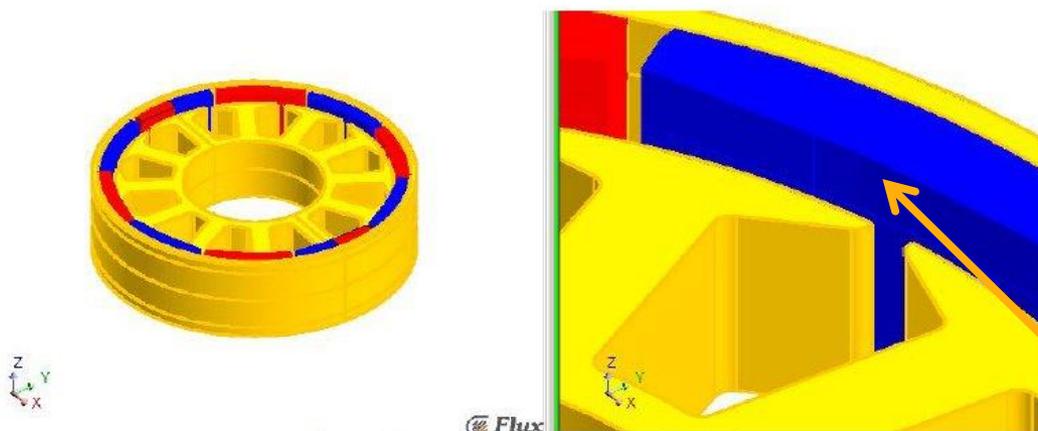
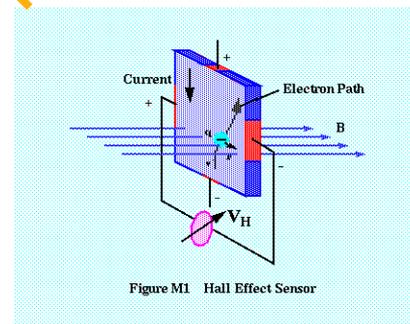


Figura 48: geometria 3D chamfer  $\pm 4^\circ$



# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

## Principio generale di funzionamento

Lorentz Force  
 $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$

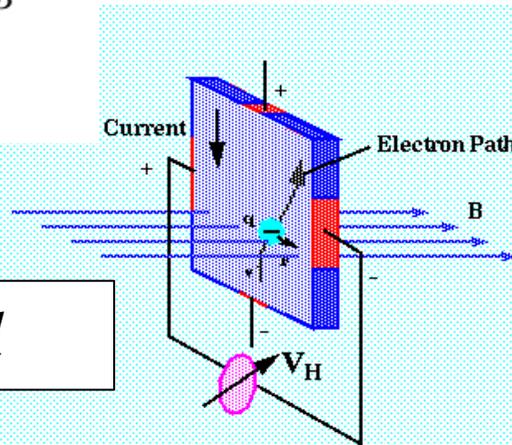
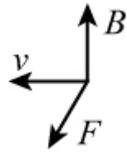
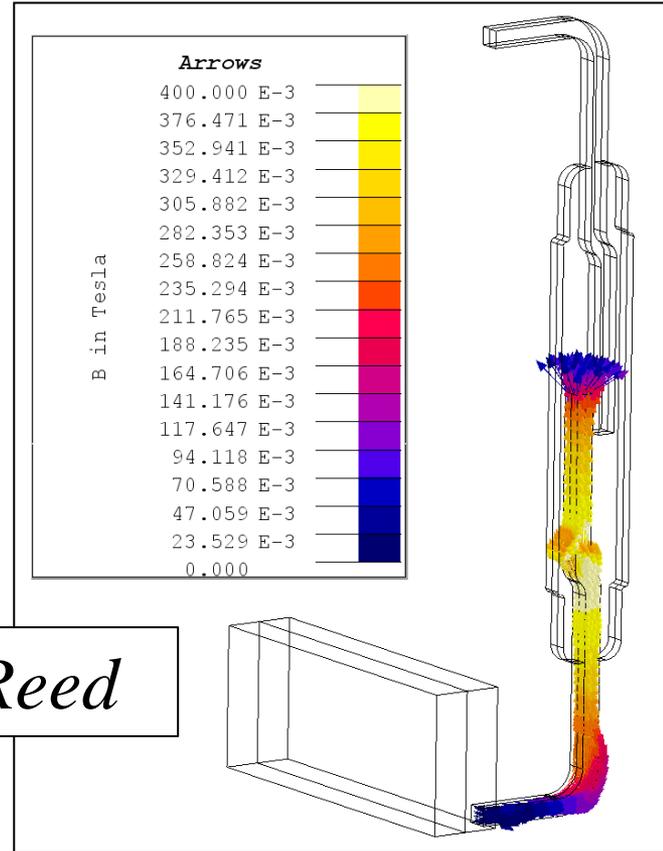
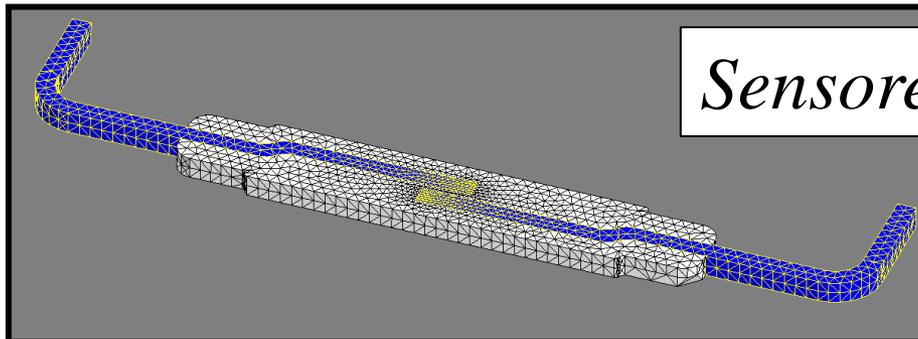


Figure M1 Hall Effect Sensor

*Effetto Hall*



*Sensore Reed*



# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

## Utilizzo di sensori magnetici

Perché utilizzare il campo magnetico in ambito sensoristico ?

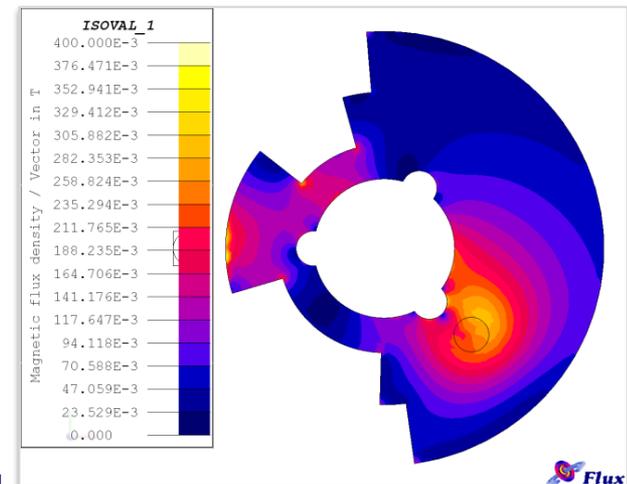
1. Consente la misura indiretta di altre grandezze.
2. Lavora a distanza.
3. Possono essere sfruttate diverse dinamiche, geometrie, sensibilità, accuratezze.
4. E' semplice da usare.
5. E' economico.

# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

## Utilizzo di sensori magnetici

Possibili problematiche:

1. Interazioni con materiali ferromagnetici o altri campi magnetici.
2. La distribuzione del campo magnetico può rivelarsi complessa.



# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

## Tipologie di sensori magnetici (1a)

Tipologia	Principio	Caratteristiche
Hall	Effetto Hall	Ridotte dimensioni, da economici a sofisticati, programmabili, ampio range
Reed	Effetto magneto-meccanico	Economico, consente iniezioni dirette di corrente. Range molto limitato, fluttuazioni di sensibilità.
Induttivo	Faraday Neumann Lenz	Solo con campi variabili, dimensioni legate alle dimensioni del conduttore e al numero di spire, limitato in frequenza da correnti indotte

# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

## Tipologie di sensori magnetici (1b)

Tipologia	Principio	Caratteristiche
Magnetoresistenza	Effetto magnetoresistivo in semiconduttori.	Ridotte dimensioni, da economici a sofisticati, buona sensibilità, programmabili, range limitato, integrabili
AMR	(1856) Anisotropic Magnetoresistive (ferromagnetic on semiconductor layer)	Buona integrazione in circuiti elettronici, anche per misura di direzione. Disturbato da campi magnetici (alcune decine di mT)
GMR	(1988) Giant magnetoresistive (ferromagnetic on non magnetic metallic layer)	Buona integrazione in circuiti elettronici, anche per misura di direzione, poco disturbato da elevati campi magnetici, elevati guadagni

# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

## Tipologie di sensori magnetici (2)

Tipologia	Principio	Caratteristiche
Squid	Effetti quantistici	Ampissimo range, lavorano a 4K, misure statiche
Fluxgate	Induzione elettromagnetica + 2a armonica in cores	Preciso, dimensioni rilevanti, limitato in frequenza a 1 kHz
Magnetoinduttivi	Permeabilità + frequenza in oscillatore LR	Limiti termici
NMR	Effetti quantistici	Elevata precisione, campi elevati. Costoso, range molto limitato

# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

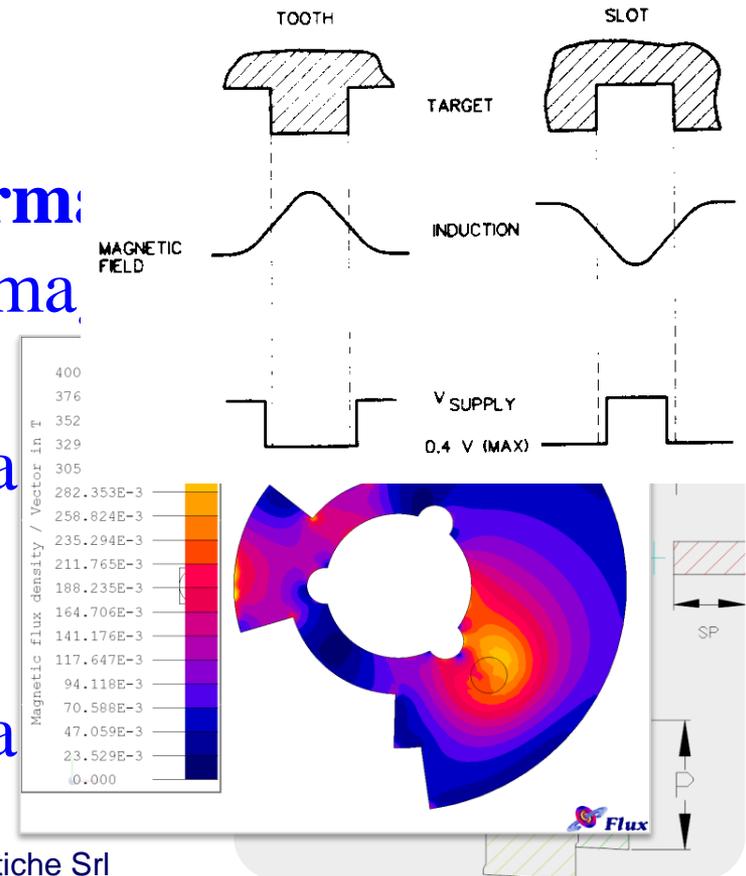
## Grandezze misurabili

Grandezza	Principio
Intensità di campo magnetico	Hall, MR, Reed
Velocità	Hall, induttivi, MR
Presenza	Hall, MR, Reed
Corrente	Hall, MR
Orientamento, direzione	Hall, MR

# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

## Modalità di utilizzo

- Sensing indiretto di **altre grandezze fisiche**.
- Risposta **on-off** o **lineare**
- Unipolare - bipolare
- Con «biasing» di **magnete permanente**
- Con schermatura da materiali magnetici
- Combinazione di più sensori
- **Programmazione finalizzata a**
  - calibrazione
  - uniformizzazione
  - compensazione temperatura



# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

## Dove vengono utilizzati i sensori magnetici ?

1. Sensori di posizione:
  - bussole
  - encoder per macchine rotanti o lineari
  - commutazione motori brushless
2. Sensori di presenza :
  - fine corsa
  - sicurezza
3. Sensori di velocità:
  - movimento rotante
  - movimento lineare
4. Sensori di corrente
5. Sensori di campo magnetico.

# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

## Dove vengono utilizzati i sensori magnetici ?

### Digital output sensor applications

- RPM/speed detectors (motor control)
- Timing measurement (photographic equipment)
- Ignition timing
- Position sensors (as low as .002" detection)
- Pulse counters (printers, motor drives)
- Valve position sensors
- Joy stick applications
- Door interlocks
- Current sensing (motor control systems)
- Fan/damper detection
- Brushless DC motors
- Tachometer pick-up
- Flow meters (replaces reed switches)
- Relays (replaces elect/mech contacts)
- X/Y & indexing tables
- Proximity detectors
- Security (magnetic card or key entry)
- Banking machines (automatic tellers)
- Telecommunications (on/off hook detector)
- Pressure sensors
- Limit switches
- Lens position sensors
- Paper sensors
- Test equipment
- Shaft position sensors
- Vending machines
- Embossing machines

# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

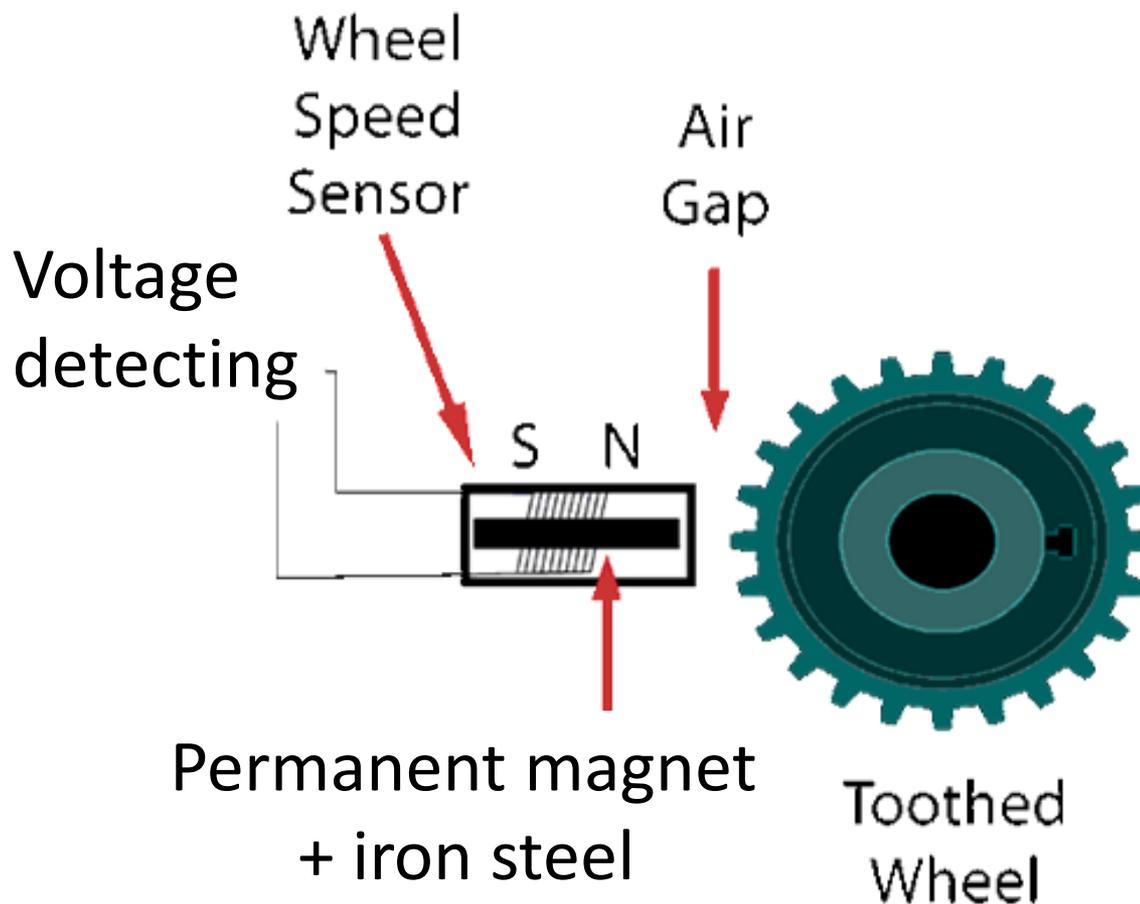
## Dove vengono utilizzati i sensori magnetici ?

### Linear output sensor applications

- Current sensing
  - Disk drives
  - Variable frequency drives
  - Motor control protection/indicators
  - Power supply protection/sensing
- Position sensing
  - Pressure diaphragms
  - Flow meters
  - Damper controls
  - Brushless DC motors
  - Wiperless/contactless potentiometers
- Encoded switches
  - Rotary encoders
- Voltage regulators
- Ferrous metal detectors (biased Hall)
- Vibration sensors
- Magnetic toner density detection
- Tachometers

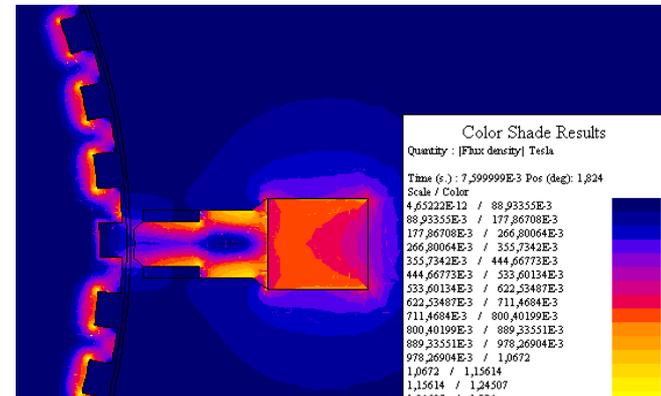
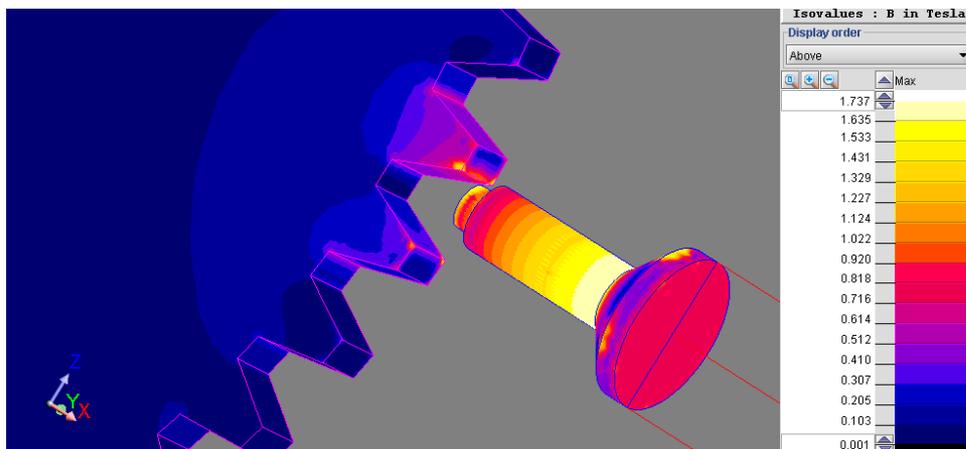
# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

## Esempio: sensore di velocità

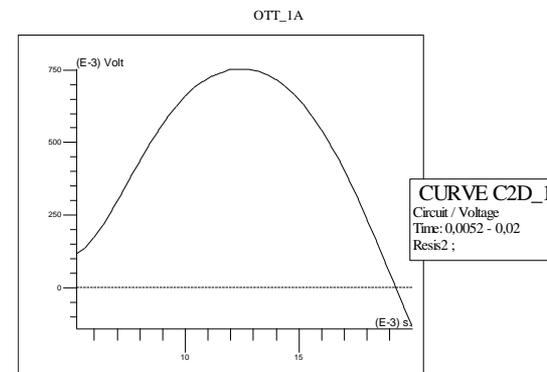
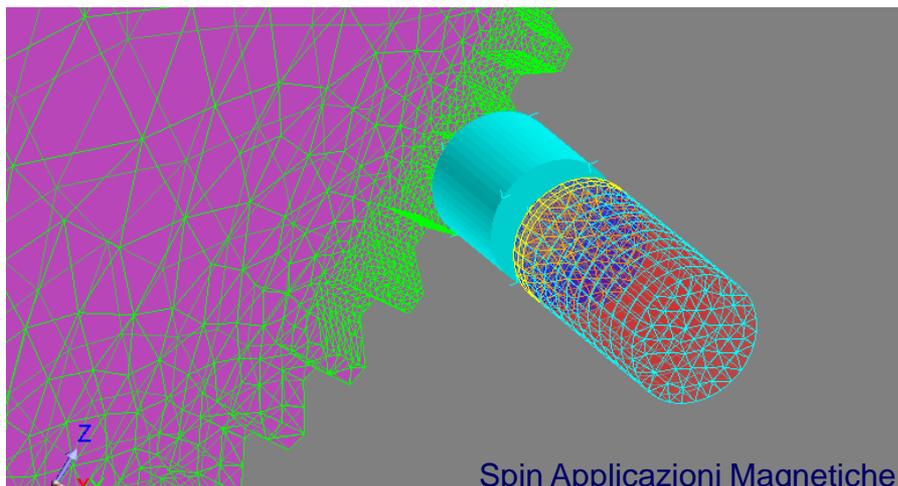


# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

## Esempio: sensore di velocità

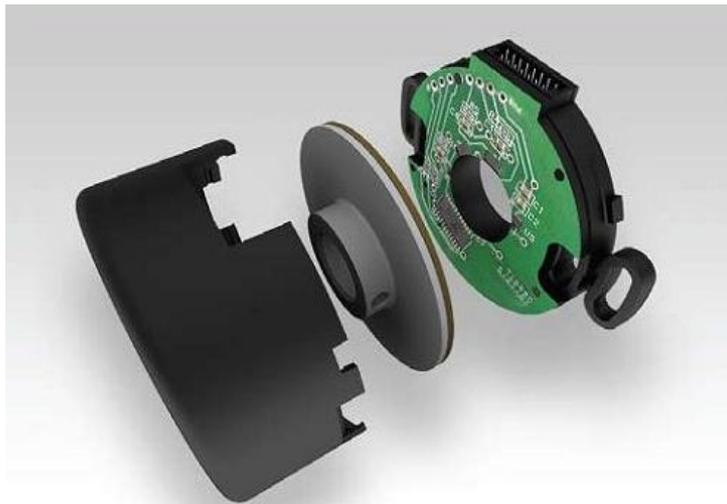


Effetti di campo assiale disperso



# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

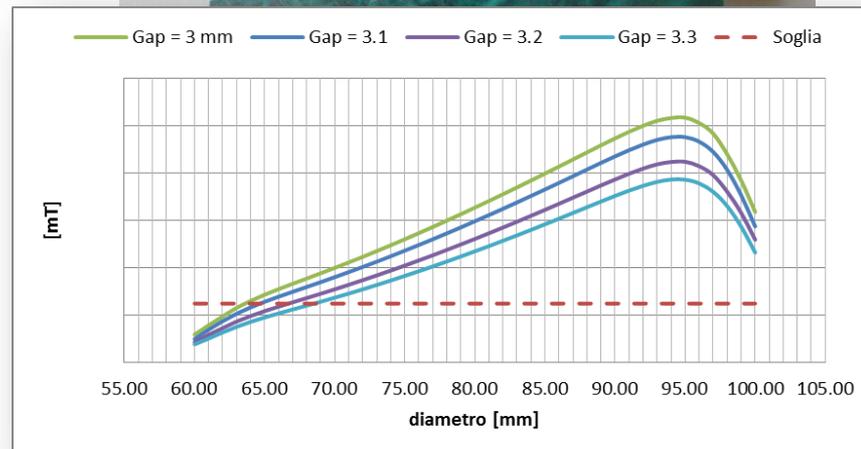
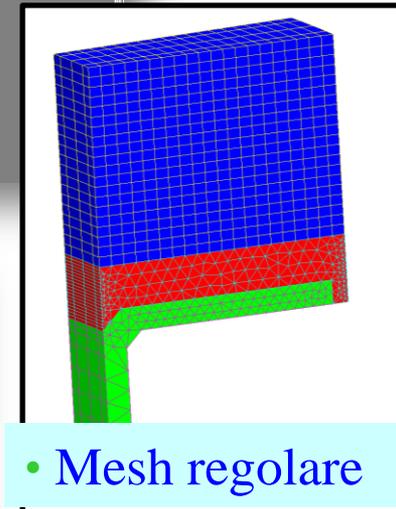
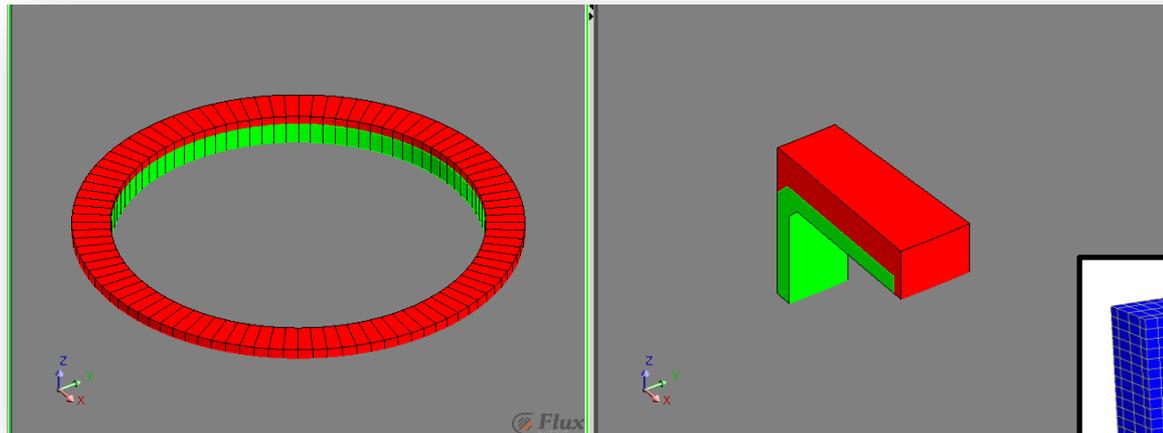
## Esempio: encoder magnetici



Obiettivo: magnetizzazione in linea mantenendo elevata accuratezza.

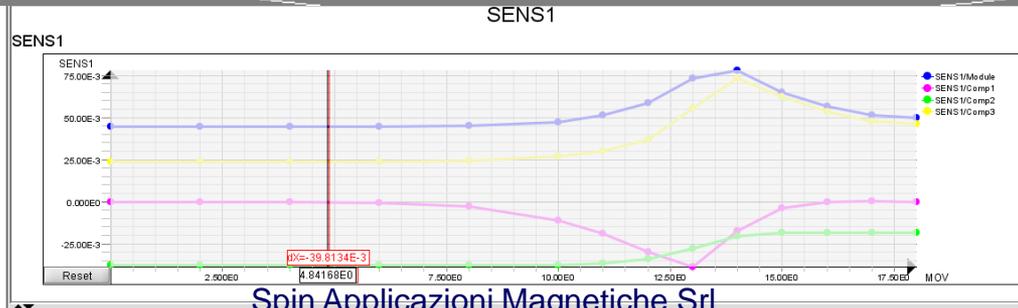
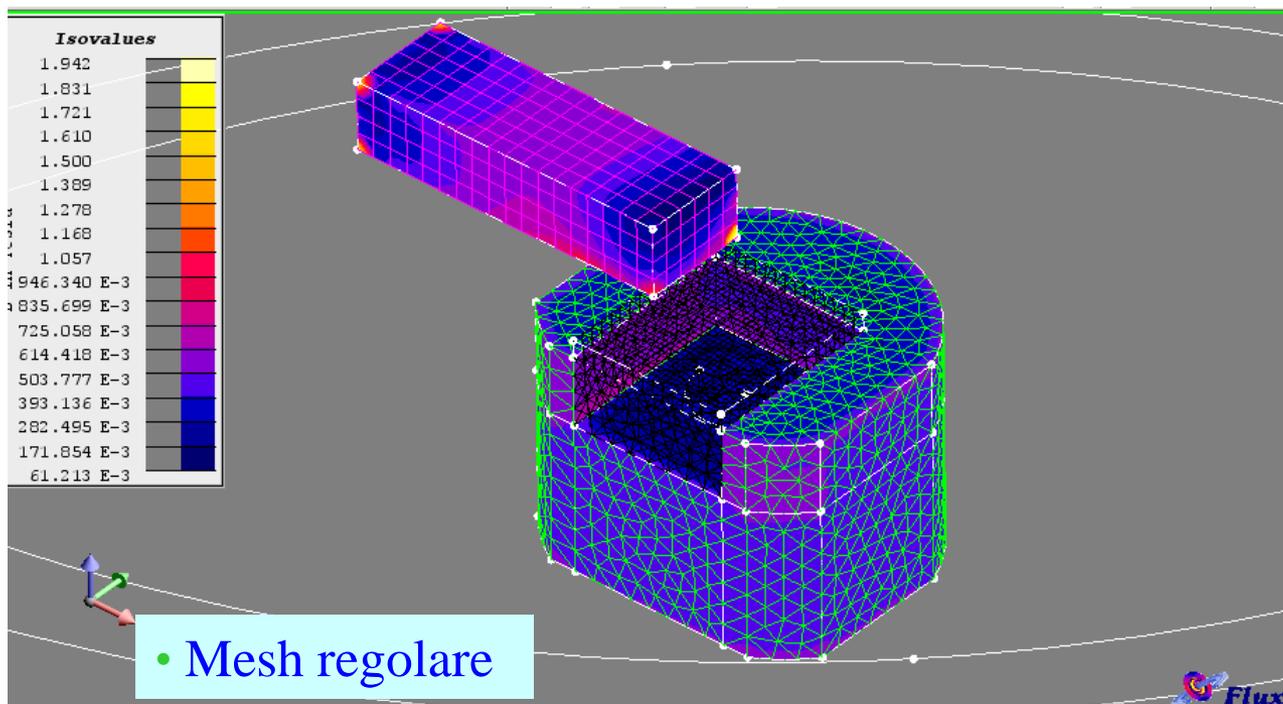
# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

## Esempio: encoder magnetici



# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

## Sensore di presenza in campo zero



# Progettazione e simulazione al computer di sensori elettromagnetici per l'industria

## Qualche annotazione

- **Ampia scelta di sensori magnetici.**
- **Materiali strategici:**
  - Terre rare – magneti permanenti  $\Rightarrow$  passaggio ad altri magneti quali ferrite o Alnico
  - Cobalto: presente in alcuni substrati di sensori integrabili (GMR)
  - Semiconduttori e loro droganti.
- **Aspetti ... secondari:**
  - dimensioni area attiva
  - posizione esatta area attiva
  - isteresi sensore
  - *variabilità produzione*

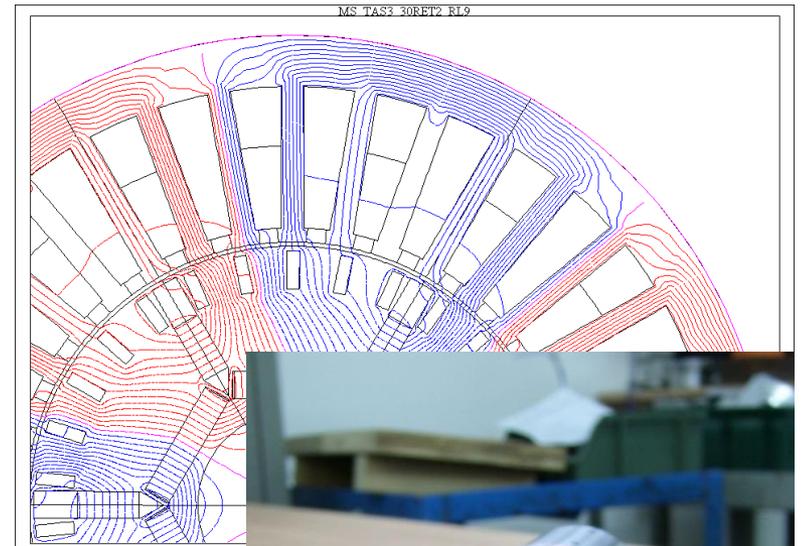
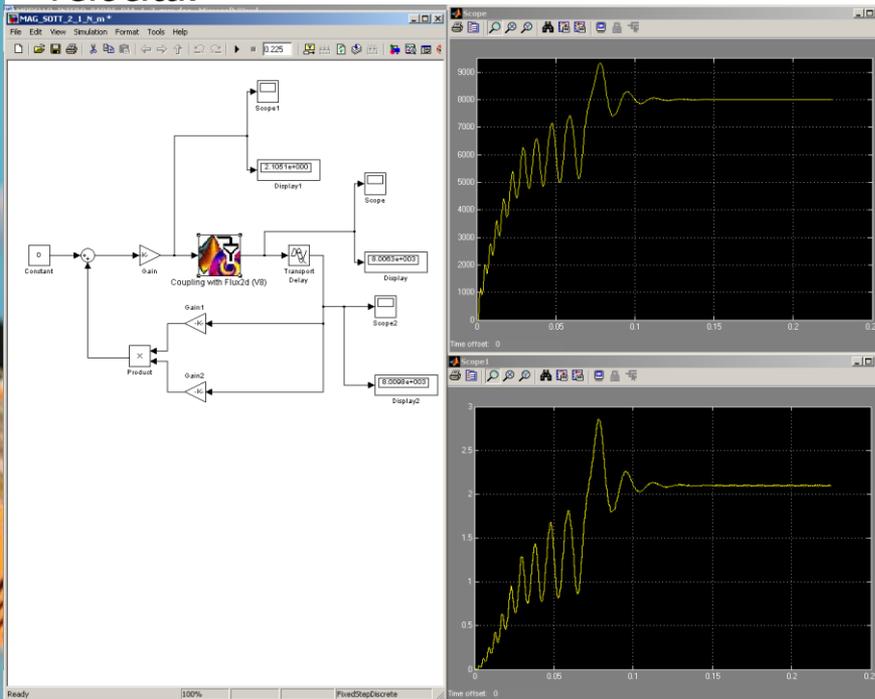
# Progettazione e simulazione al calcolatore di sensori elettromagnetici per l'industria

**Grazie per l'attenzione**

# Esempi di progettazione di MOTORE ELETTRICO

## Motore sincrono a magneti permanenti **senza azionamento** per pompa carburante

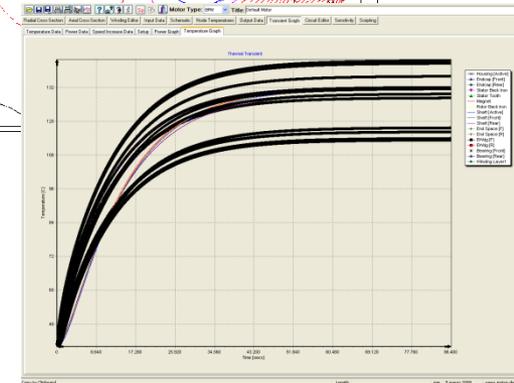
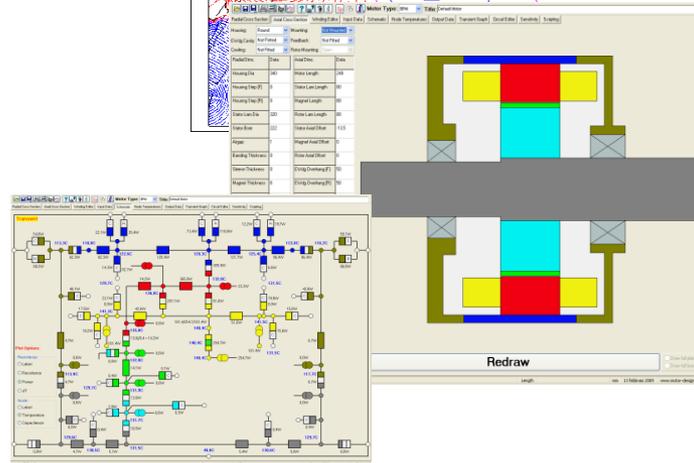
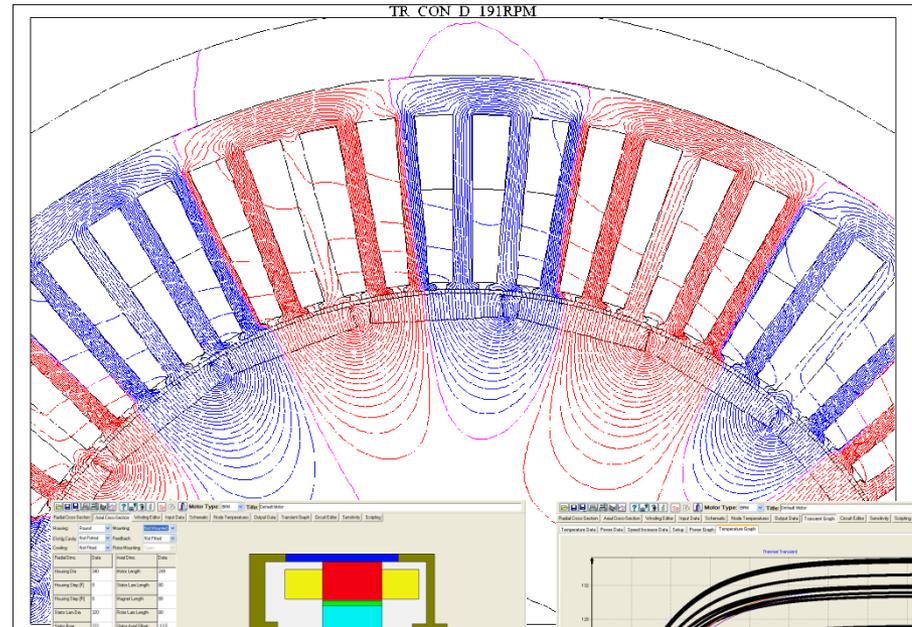
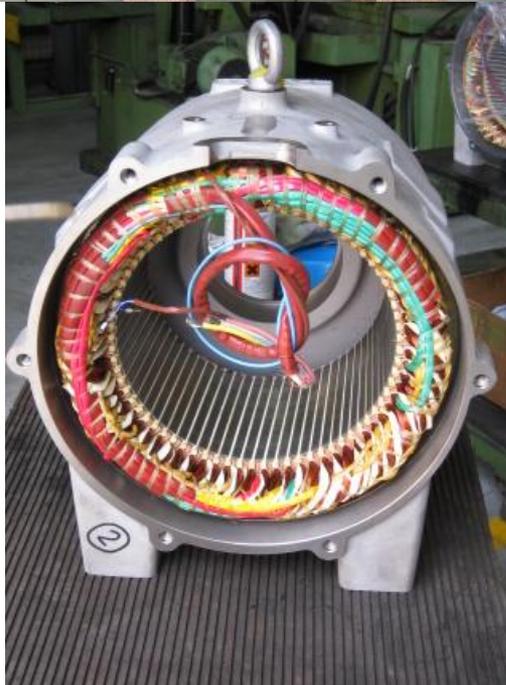
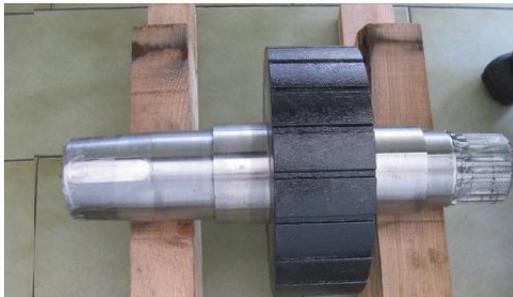
*Motore a MP interni, senza driver: la coppia resistente sale quadraticamente con la velocità.*



**Risultati cliente**

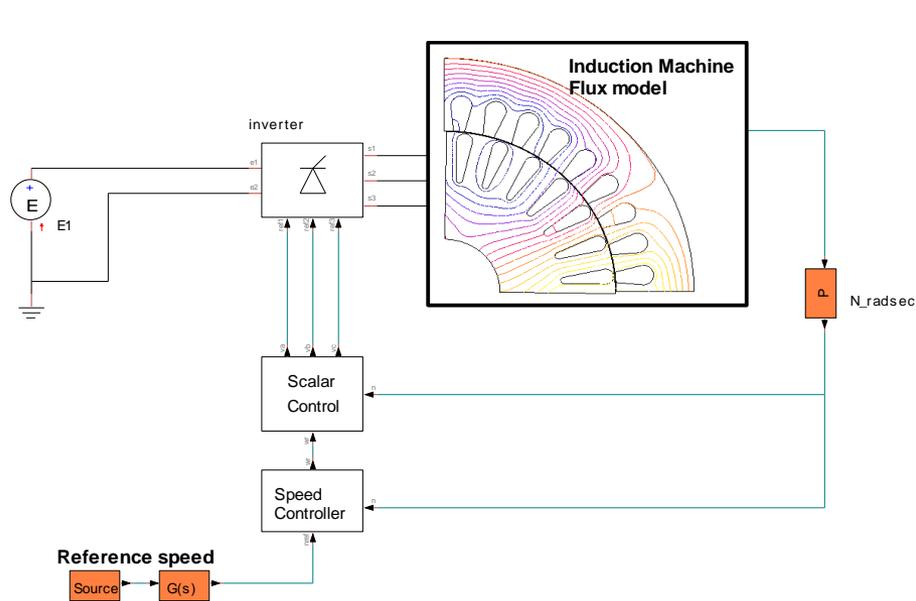
# Progettazione di MOTORE ELETTRICO

Progettazione di motore brushless a magneti permanenti superficiali con rotore interno per **elevatore**

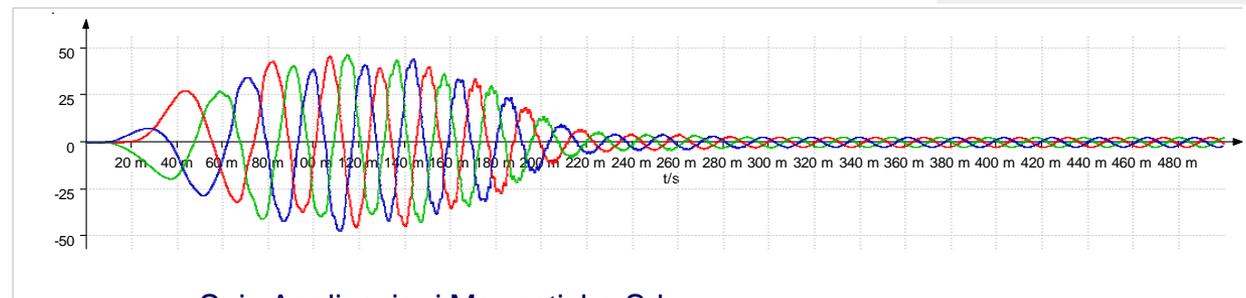


# Progettazione dell'azionamento di macchine elettriche rotanti.

Progettazione, ottimizzazione e simulazione di sistemi di controllo per macchine elettriche rotanti.

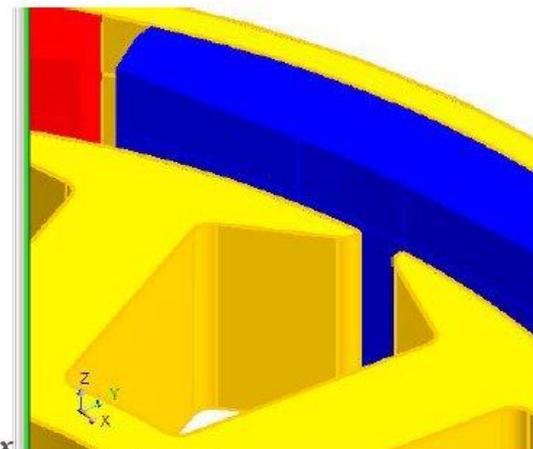
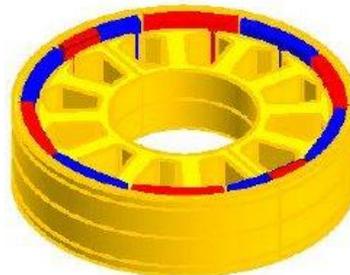
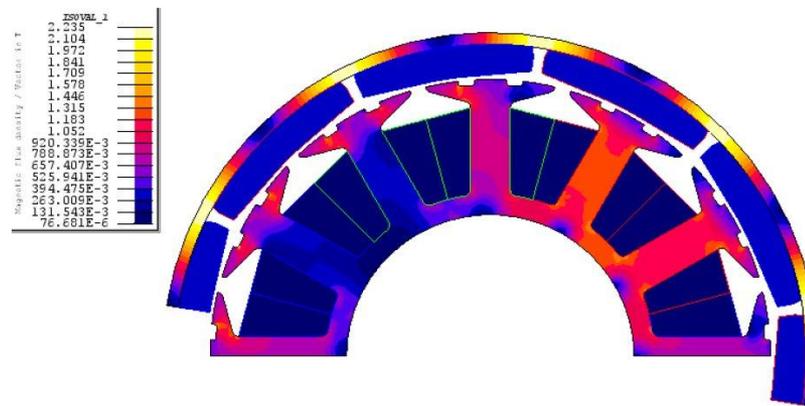


- Corrente di fase



# Progettazione di MOTORE ELETTRICO

Ottimizzazione finalizzata alla riduzione della rumorosità di motore brushless per **elettroventola** a magneti permanenti e rotore esterno



Flux  
Figura 48: geometria 3D chamfer  $\pm 4^\circ$   
Spin Applicazioni Magnetiche Srl

# Progettazione di ATTUATORE LINEARE

Motore lineare a magneti permanenti per applicazione in ambito tessile

