

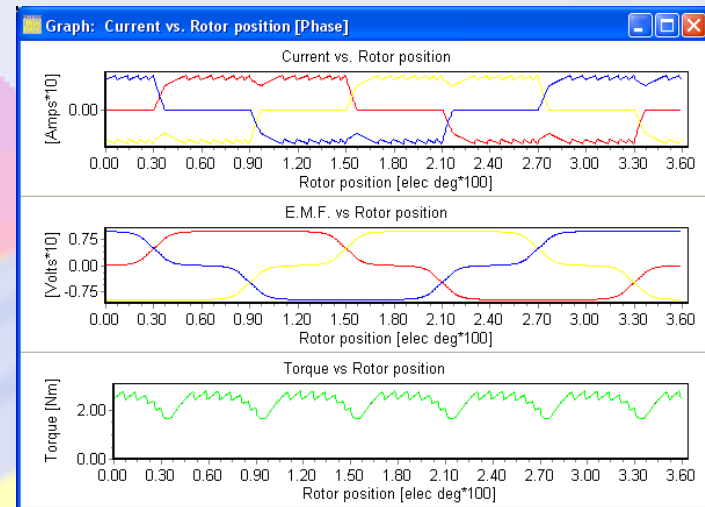
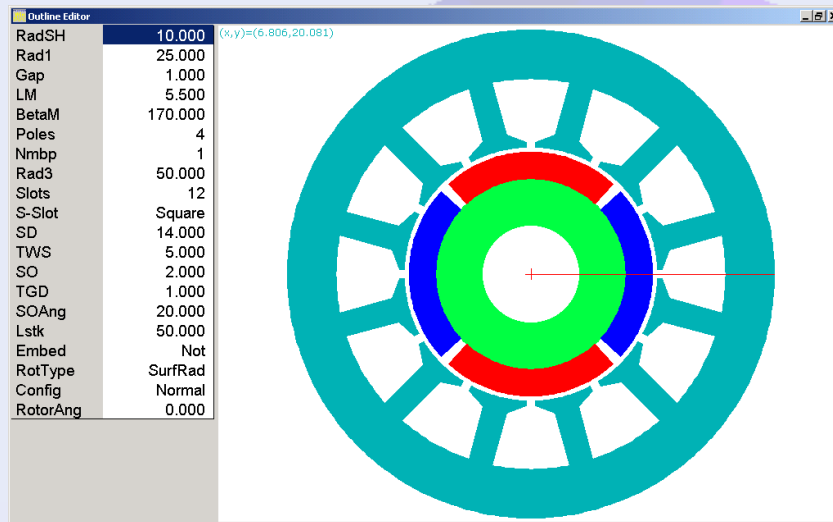
SPEED

**Programma per la progettazione
elettromagnetica di motori elettrici**

SPEED

- Insieme di programmi che consentono, mediante **formulazioni analitiche**, la progettazione elettromagnetica di motori elettrici di diverse tipologie
- Sviluppato dallo *SPEED Laboratory* (Scottish Power Electronics & Electric Drives group) presso l'università di Glasgow, condotto dal professore TJE Miller

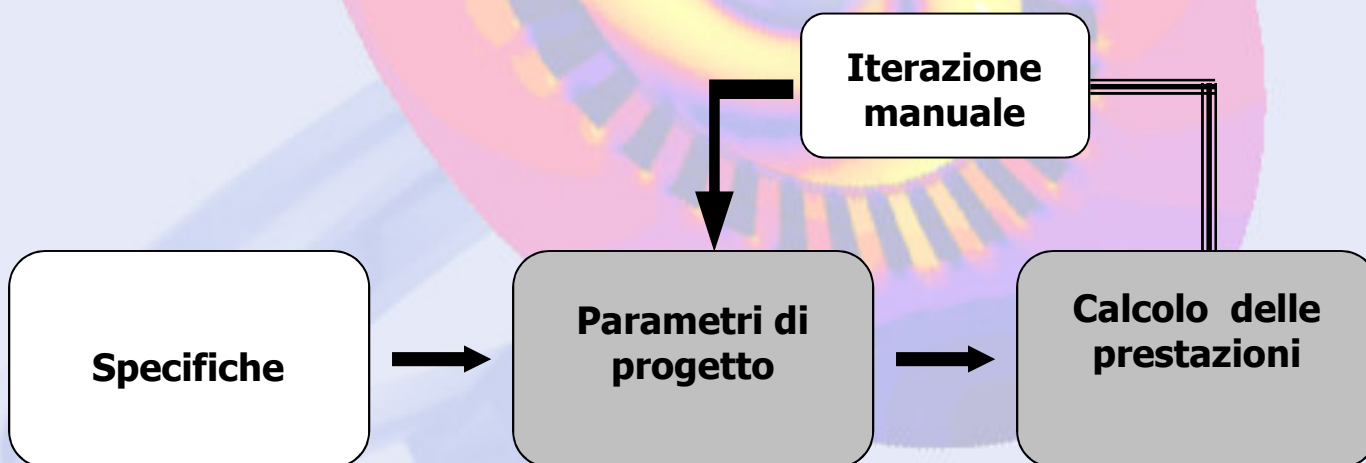
Il programma *SPEED*



- La base analitica fornisce risultati pressochè **istantanei** un volta definiti
 - dimensioni, materiali, drive
- **L'interfaccia utente** è stata sviluppata in modo specifico per facilitare l'inserimento dei dati e l'interpretazione dei risultati
 - Editor per la definizione della geometria e degli avvolgimenti dedicati
 - Produzione di grafici delle prestazioni e sommari dei risultati ottenuti

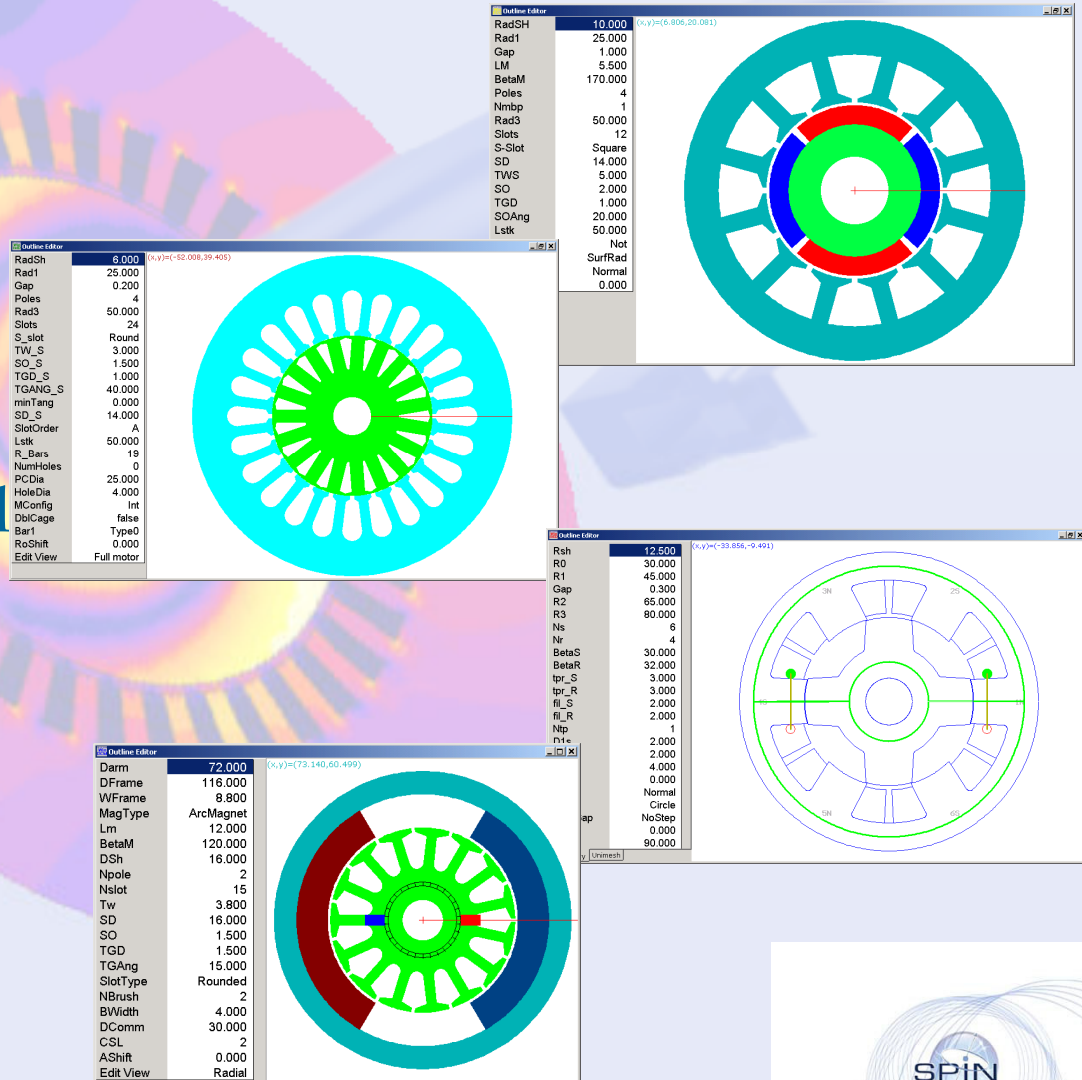
Filosofia di *SPEED*

- Non esaurisce la fase di progettazione, ma fornisce rapidamente delle risposte per valutare le idee di progetto
- Include dei modelli di base per
 - il calcolo elettromagnetico
 - l'azionamento del motore



SPEED Software

- Motori brushless
a magneti permanenti
 - PC-BDC
- Motori induzione
 - PC-IMD
- Motori switched rel.
(riluttanza commutata)
 - PC-SRD
- Motori in c.c.
(a magneti permanenti)
 - PC-DCM



I moduli di *SPEED*

- I **moduli** per i diversi tipi di motori hanno strategie tra loro **molto simili**
 - Introduzione della geometria
 - Introduzione dei dettagli di avvolgimento (tipologia, numero spire, dimensioni conduttore, ...)
 - Selezione della strategia di controllo (sinewave/squarewave, firing angles, ...)
 - Selezione dei materiali (ferromagnetici dolci e duri)
 - Selezione dell'aspetto operativo da modellare (velocità, corrente, tensione, ...)
- Gli **algoritmi matematici** usati in ciascun modulo sono invece **molto differenti** tra di loro
 - Teoria classica della generazione di coppia : molto diversa per ogni tipologia di macchina)
 - Alcuni algoritmi sono invece molto simili: per il calcolo della resistenza e del calcolo del fattore di stipamento

Uso di *SPEED*

- Inserimento della geometria del motore mediante **interfacce dedicate**

The image displays three screenshots of the SPEED software interface, each showing a different view of a motor's geometry and its corresponding parameter list.

Top Left Screenshot: Shows a 2D model of a motor's stator (cyan) and rotor (green). The parameter list includes:

RadSh	6.000	(x,y)=(-52.008,39.405)
Rad1	25.000	
Gap	0.200	
Poles	4	
Rad3	50.000	
Slots	24	
S_slot	Round	
TW_S	3.000	
SO_S	1.500	
TGD_S	1.000	
TGANG_S	40.000	
minTang	0.000	
SD_S	14.000	
SlotOrder	A	
Lstk	50.000	
R_Bars	19	
NumHoles	0	
PCDia	25.000	
HoleDia	4.000	
MConfig	Int	
DbfCage	false	
Bar1	Type0	
RoShift	0.000	
Edit View	Full motor	

Top Right Screenshot: Shows a 2D model of a motor's stator (cyan) and rotor (green) with a red arc magnet. The parameter list includes:

RadSH	10.000	(x,y)=(6.806,20.081)
Rad1	25.000	
Gap	1.000	
M	5.500	
etaM	170.000	
oles	4	
mbp	1	
ad3	50.000	
lots	12	
-Slot	Square	
D	14.000	
WS	5.000	
O	2.000	
GD	1.000	
OAng	20.000	
stk	50.000	

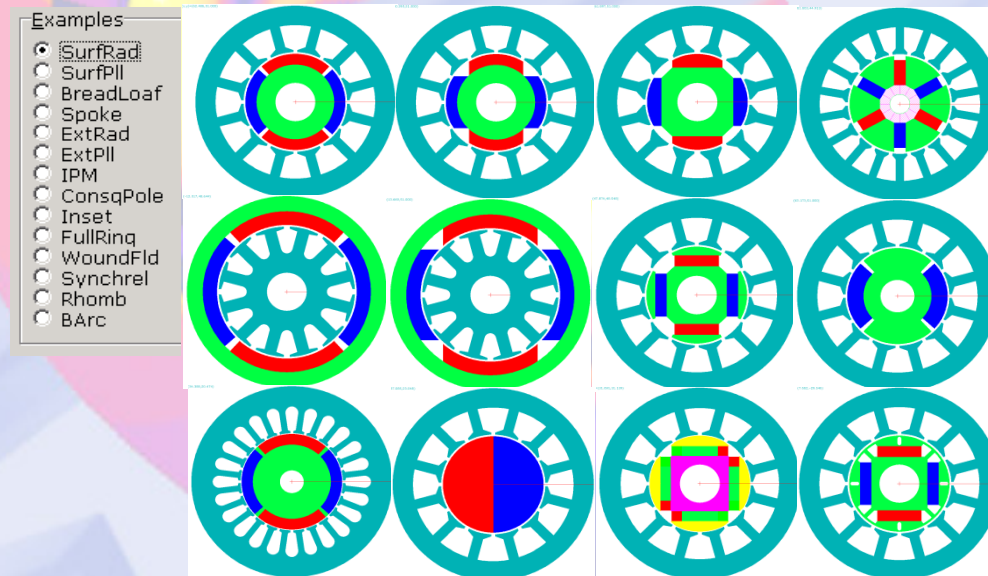
Bottom Left Screenshot: Shows a 2D model of a motor's stator (cyan) and rotor (green) with a red arc magnet. The parameter list includes:

BetaR	32.000	
tpr_S	3.000	
tpr_R	3.000	
fil_S	2.000	
fil_R	2.000	
Ntp	1	
D1s	2.000	
D2s	2.000	
tpr_T	4.000	
tab	0.000	
Jag	Normal	
SLam	Circle	
StepGap	NoStep	
cwid	0.000	
Angle	90.000	
Geometry	Unimesh	

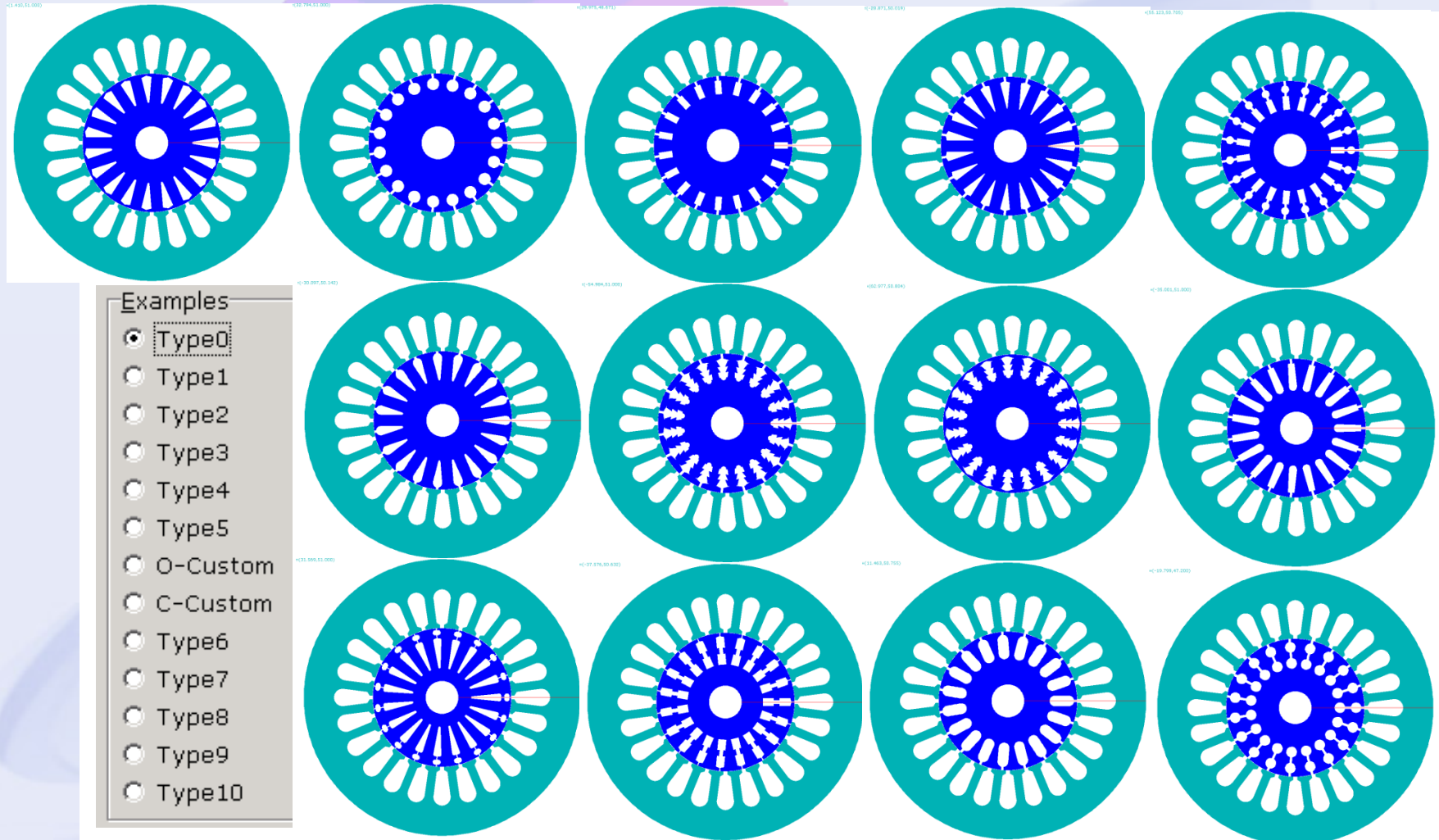
Bottom Right Screenshot: Shows a 2D model of a motor's stator (cyan) and rotor (green) with a red arc magnet. The parameter list includes:

Darm	72.000	(x,y)=(73.140,60.499)
DFrame	116.000	
WFrame	8.800	
MagType	ArcMagnet	
Lm	12.000	
BetaM	120.000	
DSh	16.000	
Npole	2	
Nslot	15	
Tw	3.800	
SD	16.000	
SO	1.500	
TGD	1.500	
TGAng	15.000	
SlotType	Rounded	
NBrush	2	
BWidth	4.000	
DComm	30.000	
CSL	2	
AShift	0.000	
Edit View	Radial	

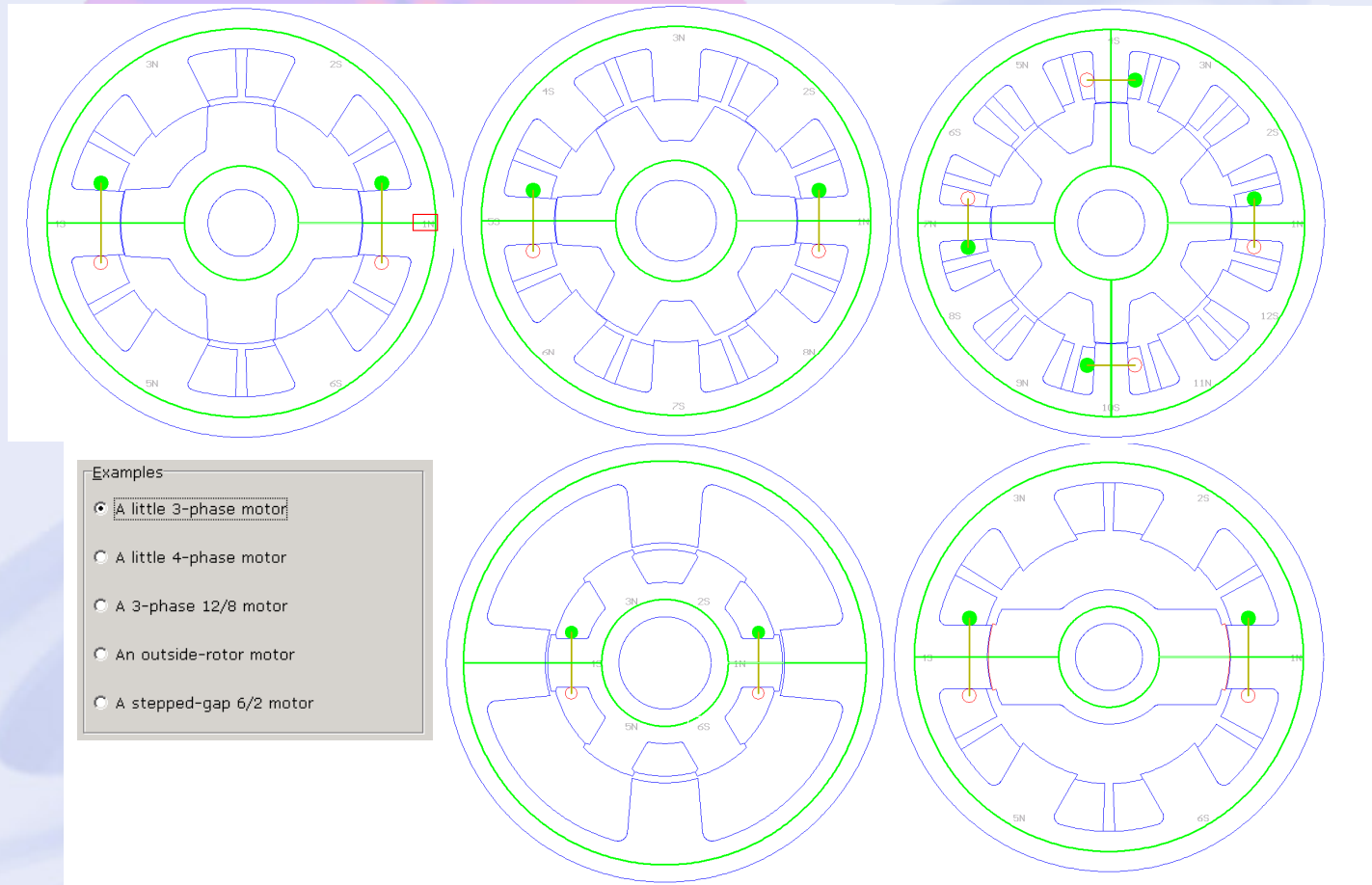
Modulo PC-BDC: tipologie di motore



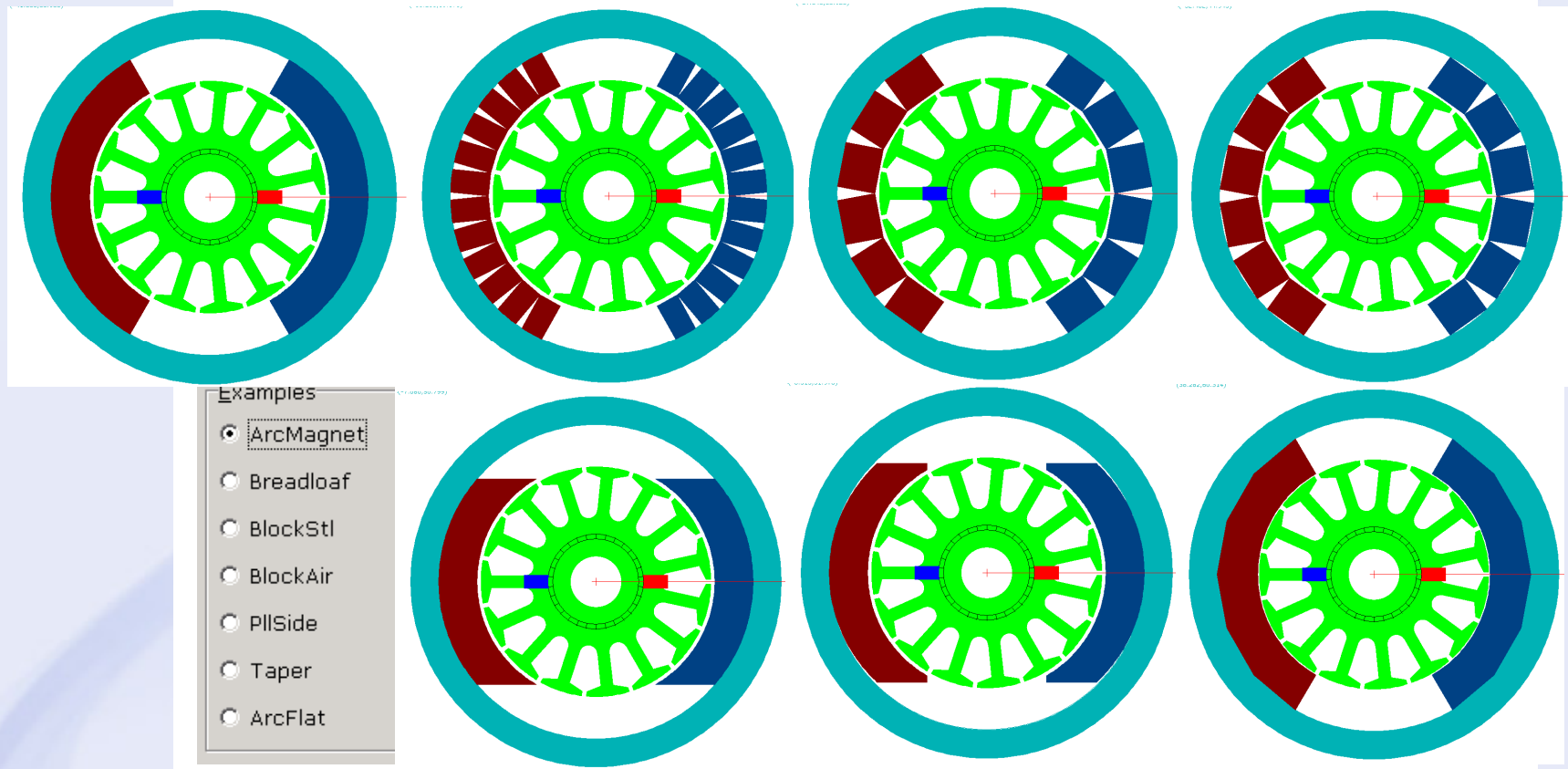
Modulo PC-IMD: tipologie di motore



Modulo PC-SRD: tipologie di motore



Modulo PC-DCM: tipologie di motore



Uso di *SPEED*: inserimento dati

“Editors” dedicati

- È possibile inserire avvolgimenti standard o personalizzati

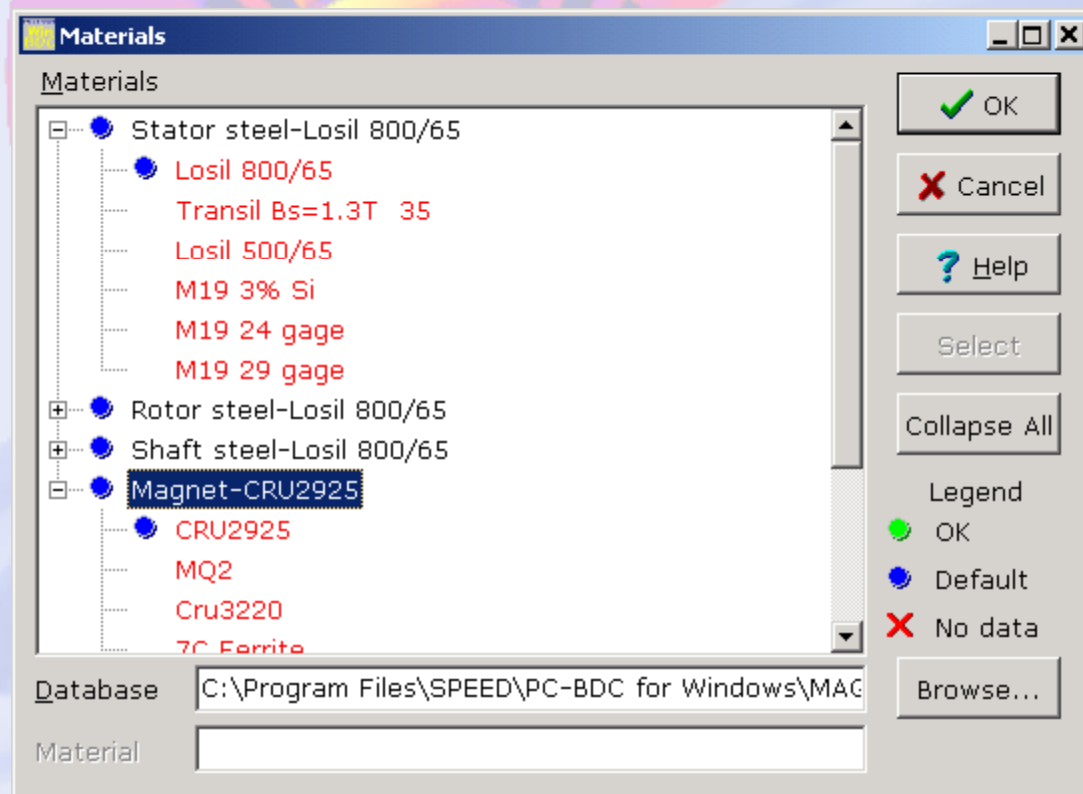
The screenshot displays the SPEED software interface, which is used for defining winding configurations and motor designs. It features several windows and panels:

- Winding Table:** A table with columns for Coil, Go, Ret, Span, and Turns. The data is as follows:

Coil	Go	Ret	Span	Turns
1	1	3	2	12
2	6	4	-2	12
3	7	9	2	12
4	12	10	-2	12
- Motor Design View:** A 3D/2D view of a motor stator with 12 slots, showing the winding layout with colored lines (red, green, blue, yellow) representing different coils.
- MMF Harmonics:** A window showing the MMF (Magnetomotive Force) harmonics for the winding configuration.
- Winding Diagram:** A detailed diagram of the winding layout, showing the connection between the stator slots and the rotor.
- Parameters Panel:** A panel with various parameters for the winding configuration, including WdgType, ConcEqual, Throw, BalWdg, Offset, CPP, Phase, and Harmonic.

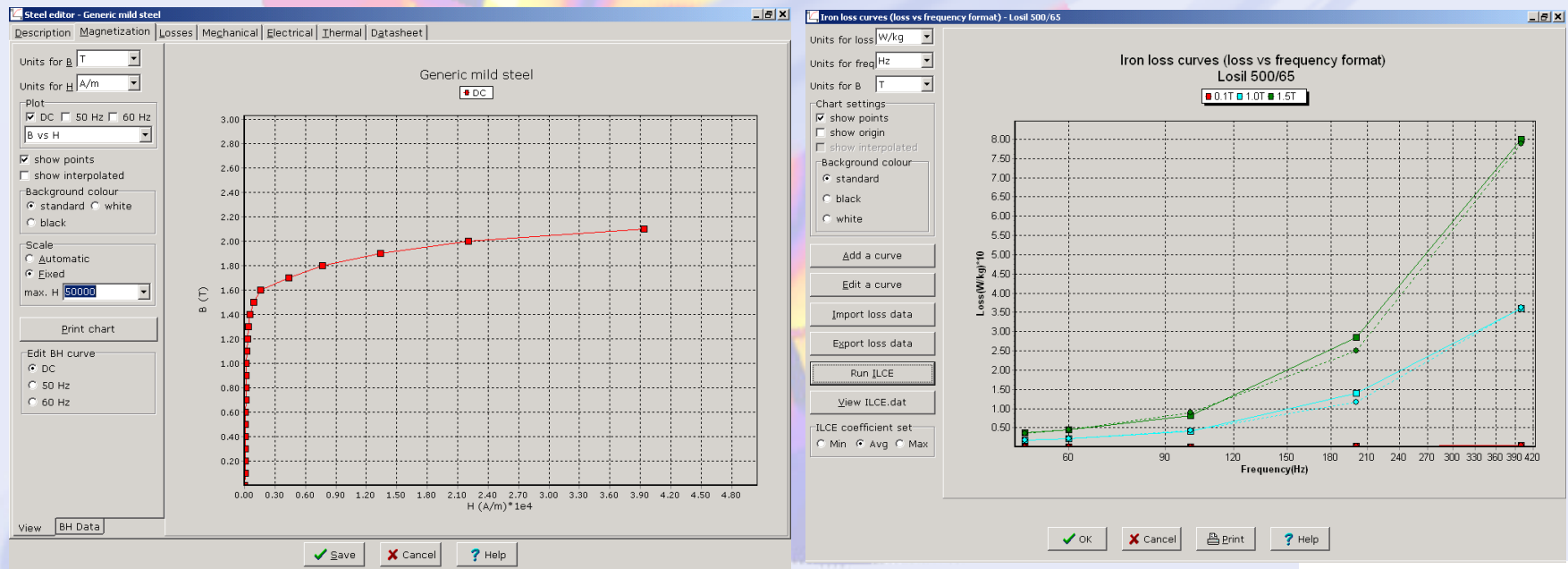
Uso di *SPEED*: inserimento dati

- Selezione dei materiali dal database



Uso di *SPEED*: inserimento dati

- Editor del database



Uso di *SPEED*: inserimento dati

- Inserimento dei dati di input per le opzioni di calcolo, temperatura di lavoro, parametri di controllo, ...

The screenshot shows the 'Template Editor' window with several tabs. The 'Dimensions' tab is active, showing a grid of parameters. Other tabs include 'Windings', 'Control', and 'Thermal'. A smaller 'Template Editor' window is overlaid on top, showing 'Calculation options' and 'Losses'.

Dimensions							
Config	Normal	RotType	SurfRad	Poles			
Lstk	50.000	Embed	Not	LM			
Rad3	50.000	Rad1	25.000	BetaM			
Stf	0.970	Inset	2.000	MagWid			
MOH	0.000	Bridge	1.000	SOAng			
RotorAng	0.000	RadSH	10.000	TGD			

Windings							
WdgType	ConcEqual	Throw	2	CPP			
NSH	1	PPATHS	1	Ext			
WireSpec	BareDia	Wire	2.000	XET			
Skew	0.000	wb	2.000				

Control							
RPM	1000.000	Vs	24.000	Drive	Square	Connex	3-Ph Wye
ISP	15.000	DuCy	0.500	Sw_Ctl	C60_Q6	Th0	0.000
HBA	8.000	fChop	0.000	dq0	false	ISLA	1.000
HBtype	Constant	FixChop	No	Tol_ISLA	Auto	Tol	8.000
EMFCalc	BLV	ChopType	Soft	RTorq	On	Dwell	0.000

Thermal							
TempCalc	DegCW	Templt	IterX	Wdg2Mag	0.800	Ambient	20.000
T_Mag	25.000	T_Wdg	25.000	T_Brg	25.000	T_Gap	25.000
DegCW	0.000	HTCcy1	10.000	HTCend	0.000	ThTol	0.000

Calculation options							
C-Probe	Phase	WriteLoop	None	TSMIn	0.000	TSMMax	0.000
Vq	0.000	Rq	0.000	Vd	0.600	Rs	0.000
t_q	0.000	Rd	1.000	eDet	off	Ecc	0.000
Bifilar	false	Vz	0.000	Cdc	0.000	LShaft	75.000

Losses							
WFeCalc	OC	XFe	1.000	LossFE	Mech	Xmb	1.000
Wf0	0.000	RPM0	1000.000	NWFT	1.000		
cWmb	false	a mb	0.000	b mb	0.000	c mb	0.000

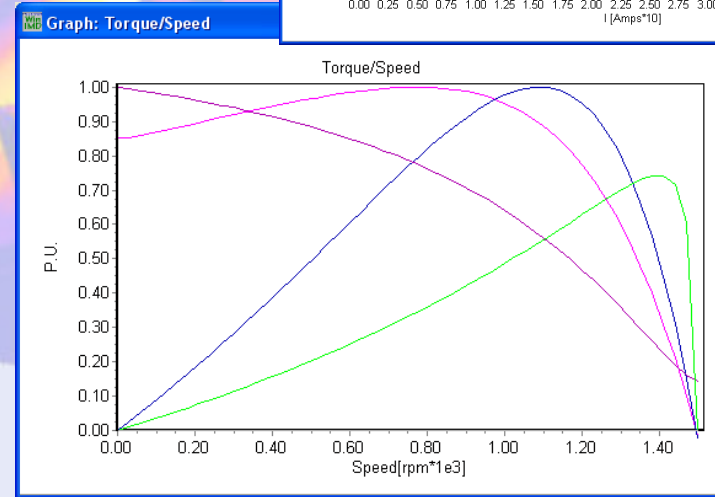
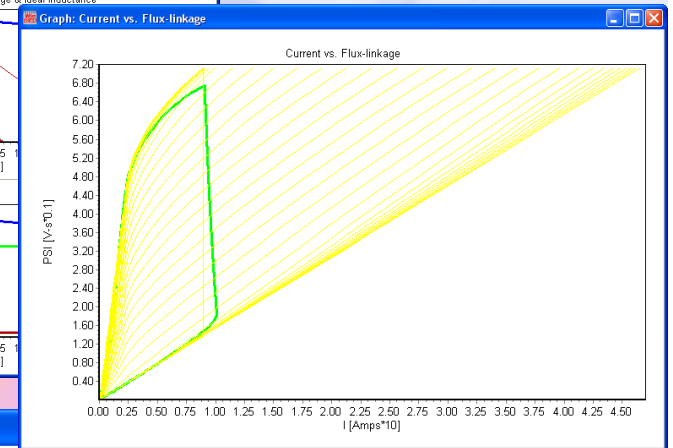
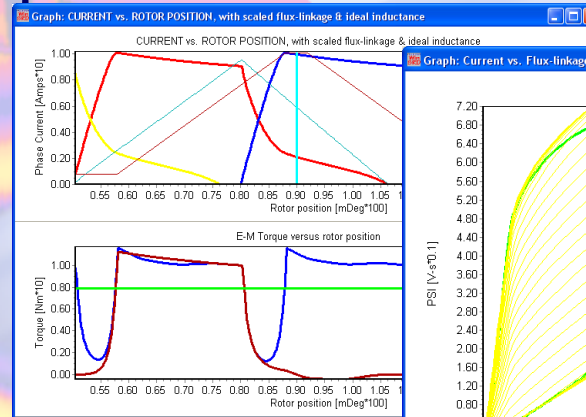
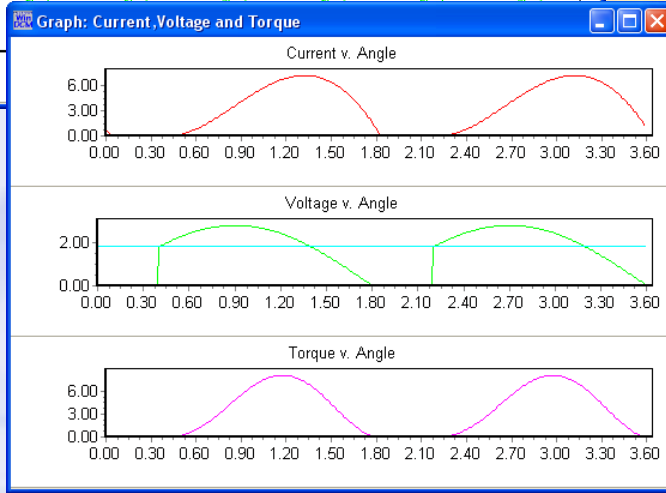
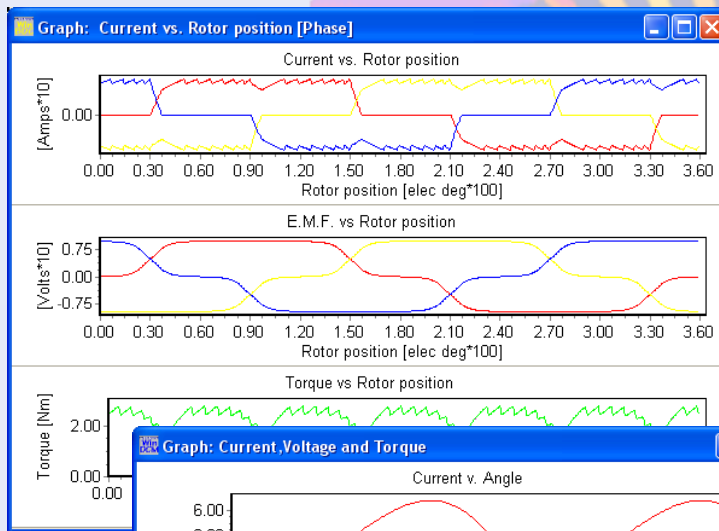
Uso di *SPEED*: risoluzione



- Prestazioni del calcolo ad ogni impostazione di dati:
 - Risultati **pressoché istantanei**
 - Analisi dei risultati mediante **grafici dedicati** (coppia/velocità, corrente/coppia, ...) e valori numerici in una tavola riassuntiva
- Possibilità di **variare rapidamente i parametri** per investigare gli effetti della loro variazione sulle prestazioni

Uso di *SPEED*: risoluzione

- Alcuni dei grafici disponibili :



Uso di *SPEED*: risoluzione

- Parametri di calcolo ottenuti:

Design Sheet

5 Magnetic Circuit Design:-----

T_Mag	25.000	DegC	T_r	16.000	DegC	XBrT	1.000
BrT	1.104	T	BgOC	0.755	T	Hca	806.063 kA/m
BgAvOC	0.695	T	PhiG	1.392	mWb	BGA/BgOC	0.921
Bg1OC	0.949	T	PhiM1	1.210	mWb	Bg1/BgOC	1.258
BmOC	0.888	T	Bm/BrT	0.804	XBtpk	1.000	
HmOC	-157.793	kA/m	Hm/HcT	-0.185	PC	4.478	
Bst	2.013	T	Bsy	1.435	T	Bry	1.466
kT	0.174	Nm/A	kE	0.184	Vs/Rad	krpmNL	1.244
kSat	1.000		XSatn	1.000	CalcSatn	Fixed	
Xks	0.000		ks	0.000	SatnTol	0.000	
EffWst	5.000	mm	EffLst	11.139	mm		
Btpk_OC	2.095	T	Btpk_Ld	2.194	T	Btpk_Lds	2.194
Bypk_OC	1.444	T	Bypk_Ld	1.490	T	Bypk_Lds	1.490
eLLpk	19.300	V	eTmax	0.193	V	Bslot	0.030
IBk	184.723	A	Bk	0.000	T	Hk	-806.063 kA/m
ILR	236.538	A	BmLR	-0.329	T	HmLR	-1045.936 kA/m
IC180	426.757	A	BmC180	-1.535	T	HmC180	-1926.534 kA/m
BHmag	140.113	kJ/m3	Carter	1.009	Xrm	0.500	
Amhp	825.213	mm^2	Aghp	945.750	mm^2	Rghp	8.486E+05 At/Wb
Pm0	0.206	uWb/At	Xrl	1.000	prl	0.302	
u_LKG	0.000		f_Lkg	0.950	if_Lkg	1.053	
Fringing	ON		XFringe	1.000	XBetaM	1.000	
SlotMod	No		XSlotMod	1.000			

7 Dynamic design (time-stepping simulation):-----

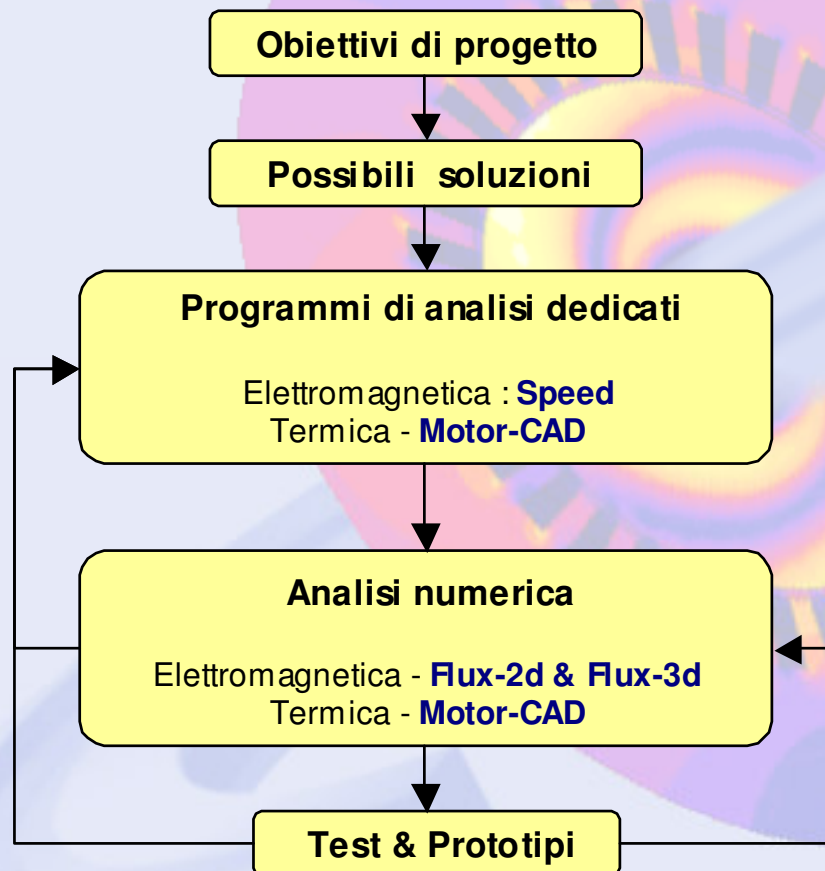
OpMode	Motoring	Vs	24.000	V	RPM	1000.000	rpm	
Torque	2.165	Nm	Pmech	226.680	W	Eff	86.967	%
WCu	18.110	W	WFe	14.004	W	WFF	0.000	W
WCan	0.000	W	WMagnet	1.856	W	WShaft	0.000	W
WTotal	33.970	W	TempRise	0.000	DegC	Jrms	3.472	A/mm^2

Design Sheet

4 Winding Data:-----

WdgType	ConcEqual	Connex	3-Ph Wye	Throw	2		
TC	12	CPP	1.000	NSH	1		
Tph	48.000	PPATHS	1	SPP	1.000		
Layers	2.000	CSidesPh	8	Z	288.000		
MLT	192.598	mm	LgthOEnd	79.475	mm		
EndFill	0.500	LaxPack	80.618	mm	Ext	0.000	
WireSpec	BareDia	Wire	2.000	SFill	0.482		
SFillHBL	0.700	WireDia	2.000	mm	InsThick	0.000	
Aslot	156.567	mm^2	ACond	3.142	mm^2	ASlotLL	137.045
GPAslot	158.567	mm^2	ATstick	8.862	mm^2	Topstick	false
TwjWid	2.000	mm	TwjLeg	3.500	mm	TwjThk	0.000
PhsWid	2.000	mm	PhsLeg	3.500	mm	PhsThk	0.000
ATwj	0.000	mm^2	APhs	0.000	mm^2	MaxSFn	0.700
XET	1.000	ETCalc	BDC 4.7	Liner	0.400		
Nse	52.928	X_R	1.000	Ax1	60.000		
T_Wdg	25.000	DegC	Rph0	0.052	ohm	R_LL	0.103
T_c	20.000	DegC	Rph	0.051	ohm/ph	TFRho	1.000
Inductances...							
Lph	0.298	mH	Mph	-0.139	mH	XL	1.000
Lg	0.180	mH	Lslot	0.098	mH	Lendt	0.019
Mg	-0.090	mH	Mslot	-0.049	mH	LDiff	0.017
Lsigma	0.134	mH	Msigma	-0.057	mH	XLdiff	1.000
Lgg	1.083	mH	Mgg	-0.541	mH	PCslot	1.360
LL_d	0.876	mH	LL_q	0.872	mH	L_LL	0.874
Lg_0	0.164	mH	Lg_2	6.344E-04	mH	Laa_d	0.298
Ld	0.438	mH	Lq	0.436	mH	Laa_q	0.297
Xd	0.092	ohm/ph	Xq	0.091	ohm/ph	Xsigma	0.040
XCd	1.000	XCq	1.000	Gq	0.165		
Gd	0.167	Xm0	0.310	ohm/ph			
kw1	0.866						

Speed-Motor Design – Analisi iterativa



- La progettazione elettromagnetica “dovrebbe” essere iterativa con quella termica, in quanto le perdite dipendono dalla temperatura e la temperatura dalle perdite
- L’utilizzo di pacchetti software con approcci differenti (es. Flux e Speed) aiuta a raggiungere una progettazione ottimale

Uso di *SPEED*

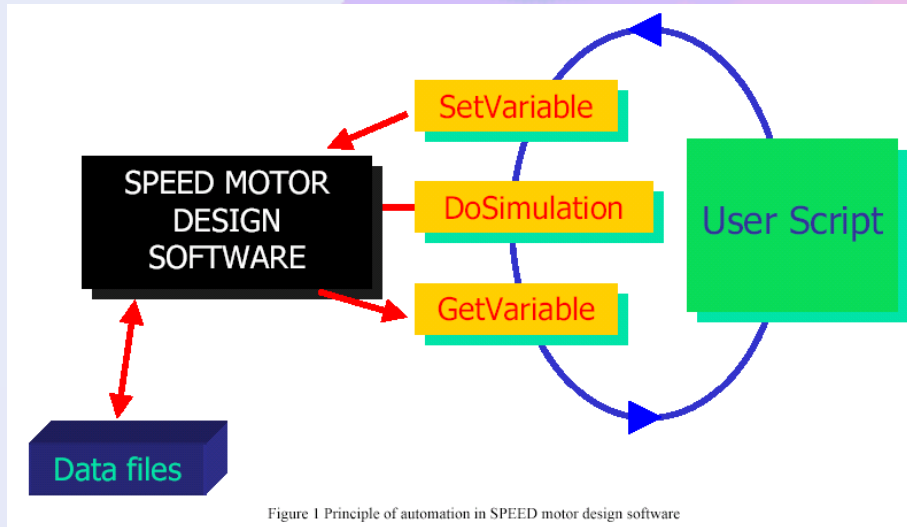
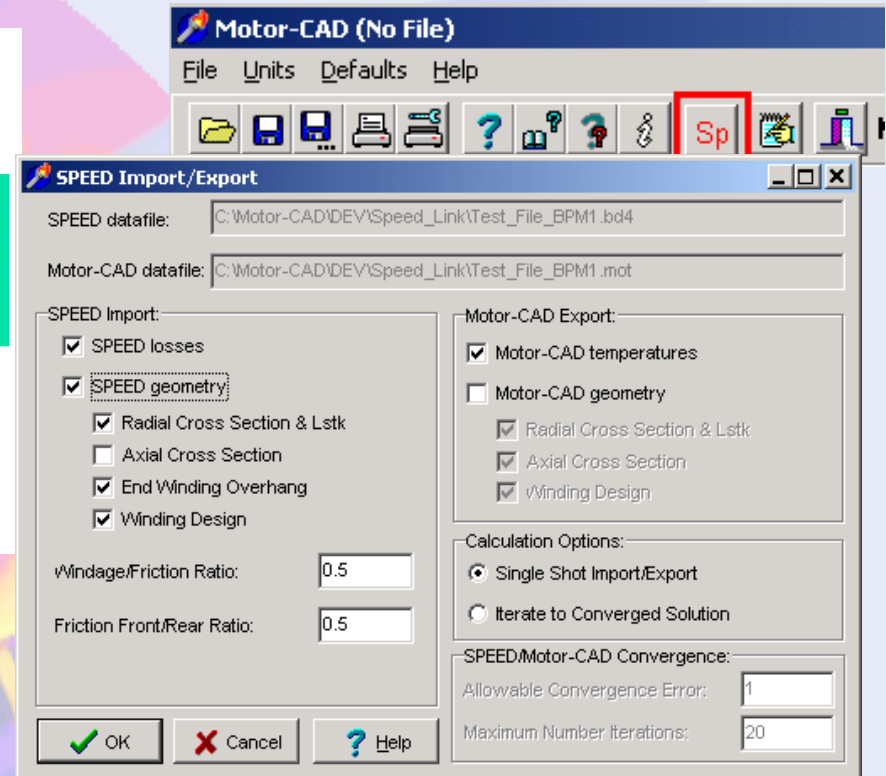
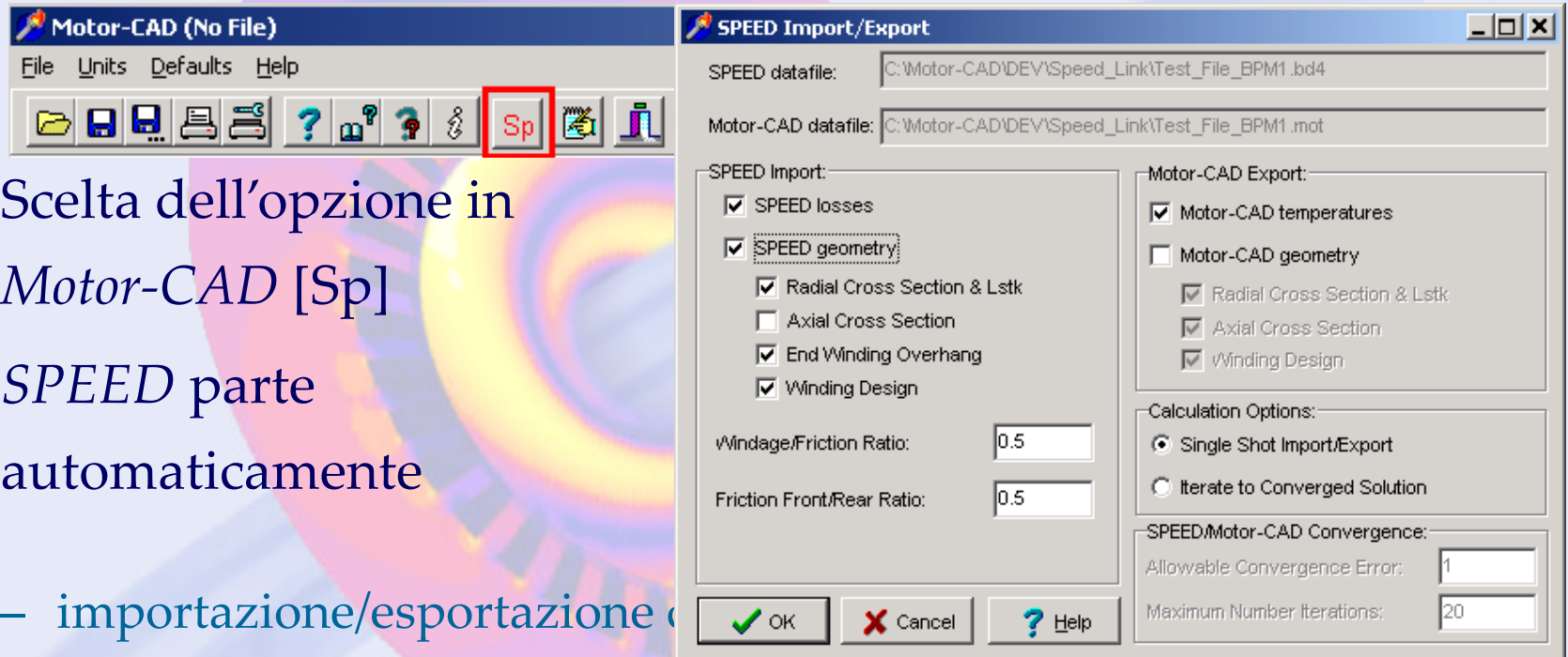


Figure 1 Principle of automation in SPEED motor design software



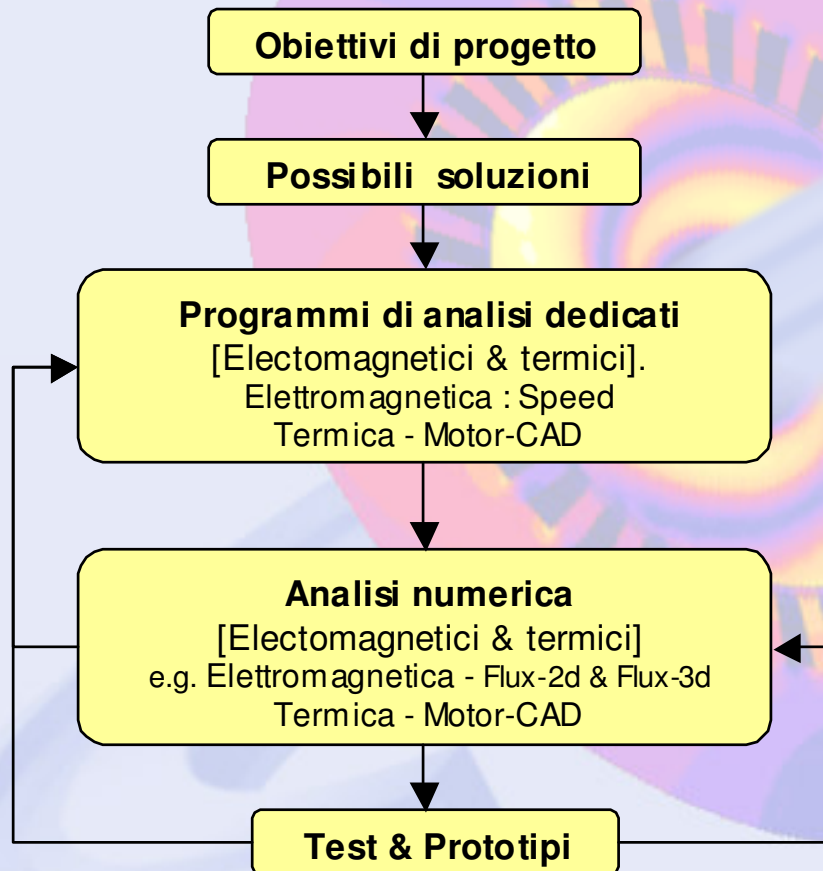
- Il “link” ActiveX permette di automatizzare l’interazione con altri pacchetti software come Visual Basic, Matlab e Motor-CAD

Interfaccia *SPEED* - *MotorCad* mediante ActiveX



- Scelta dell'opzione in *Motor-CAD* [Sp]
- *SPEED* parte automaticamente
 - importazione/esportazione
 - Importazione delle perdite
 - Esportazione della temperatura
- E' possibile eseguire [Single Shot] o [Iterate to Converged Solution]

Interfaccia *SPEED* – *Motor Cad* mediante ActiveX



- La progettazione elettromagnetica “dovrebbe” essere iterativa con quella termica, in quanto le perdite dipendono dalla temperatura e la temperatura dalle perdite