

XXIV Ciclo di Dottorato
in Meccanica Applicata
curriculum Biomeccanica

SISTEMI E MODELLI PER LA BIOMECCANICA DEL CORPO UMANO

Dottorando:
Marco Ometto

Tutor:
Giovanni Legnani

Università degli Studi di Brescia
Facoltà di Ingegneria
Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale



In poche parole

Strumenti

Cicloergometro per handbike

Modelli

Analisi cinematiche del rachide

Corsi, Convegni, Pubblicazioni



In poche parole

Strumenti

Cicloergometro per handbike

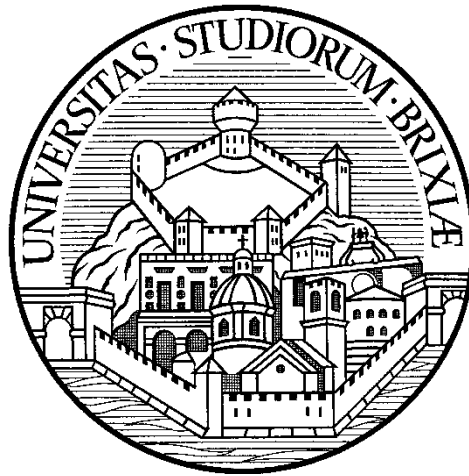
Modelli

Analisi cinematiche del rachide

Corsi, Convegni, Pubblicazioni



Ambito di lavoro



Cicloergometro per handbike

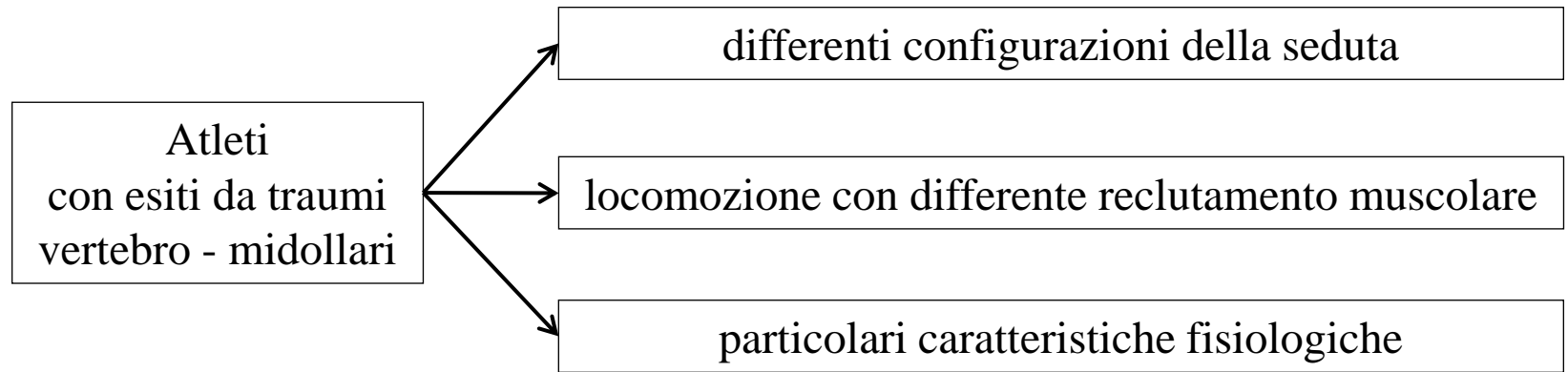
HANDBIKE

Mezzo di locomozione per soggetti con limitazione funzionale degli arti inferiori

- tre ruote, trazione anteriore
- trasmissione a catena, di derivazione ciclistica
- propulsione mediante arti superiori
- azionamento sincrono delle manopole



Cicloergometro per handbike: motivi dello studio



 monitoraggio fisiologico e biomeccanico dell'attività:

- potenza espressa e costo energetico (VO_2):
- frequenza cardiaca (HR)
- elettromiografia di superficie (EMG)
- forze applicate alle manopole

Cicloergometro per handbike: specifiche

GESTIONE DELLA RESISTENZA

determinazione del costo energetico
determinazione indiretta del consumo d'ossigeno

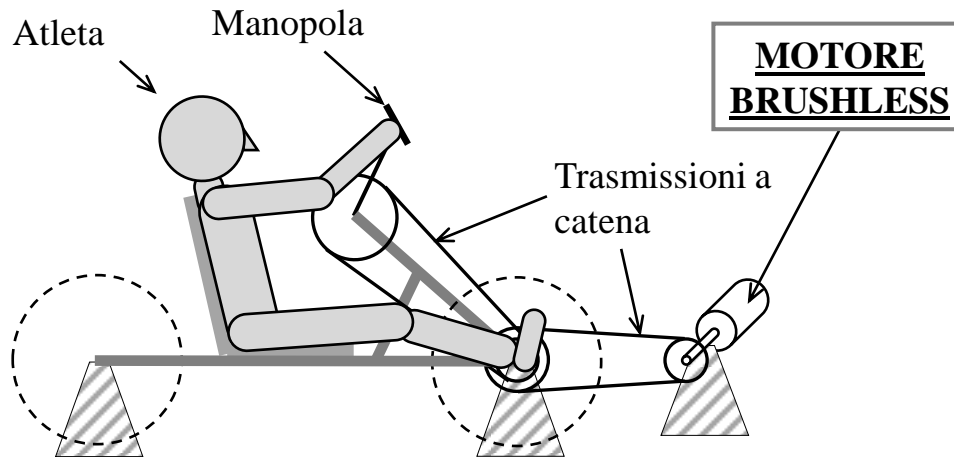
MISURA DELLE FORZE

studio della biomeccanica
valutazione dei fattori di rischio dell'attività sportiva
prevenzione traumi da sovraccarico
determinazione della miglior postura

ACQUISIZIONE DATI

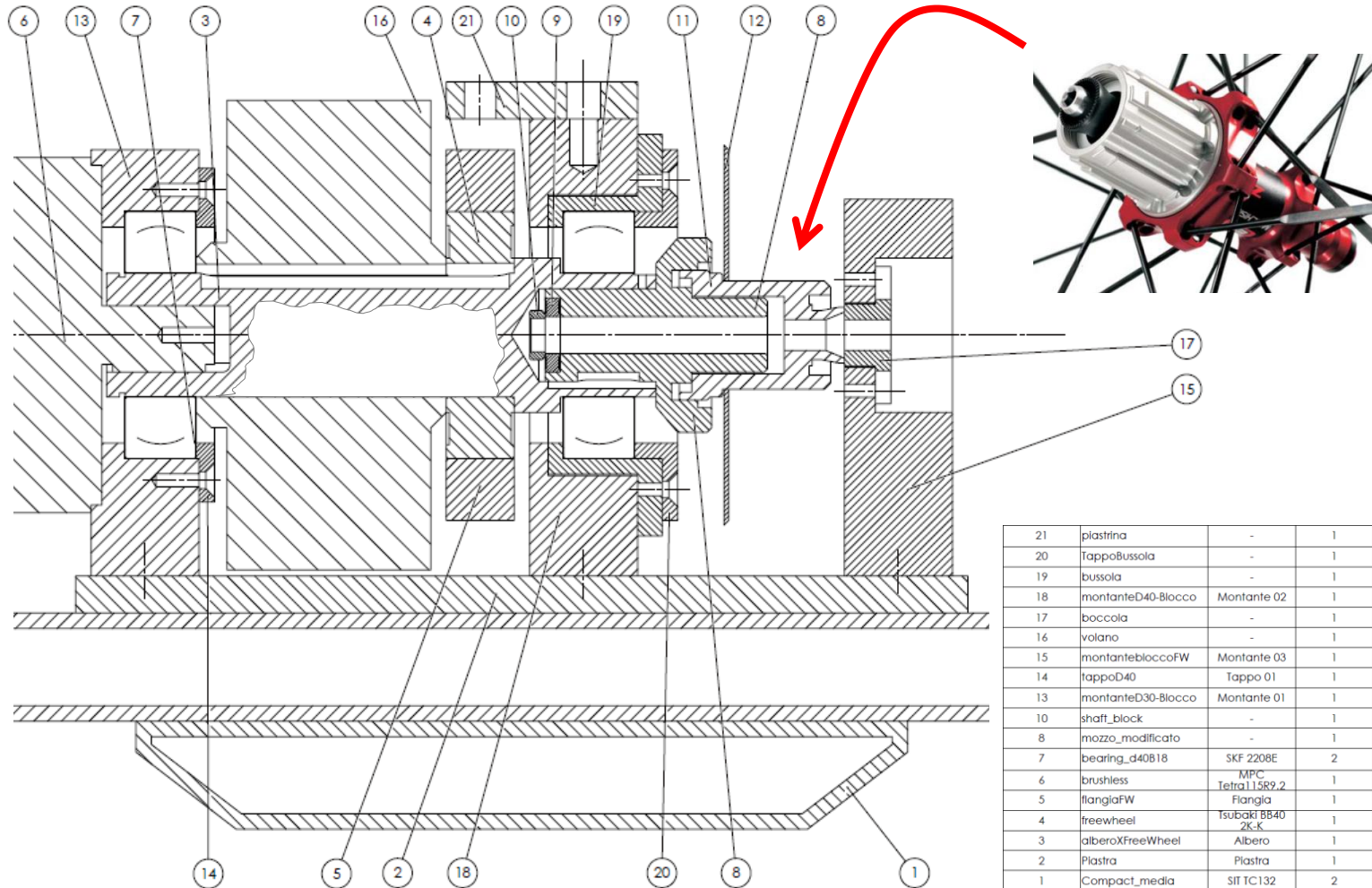
sincronizzazione delle informazioni
ricerca di correlazione tra le grandezze
gestione dell'intero sistema

Cicloergometro per handbike: caratteristiche



- le misure di coppia e velocità si ricavano dal convertitore
- generazione di svariati carichi di lavoro (costanti, iperbolici, polinomiali)
- possibilità di stimare i valori di inerzia e attrito del sistema

Cicloergometro per handbike: progetto e disegno



21	piastrina	-	1	A4.007
20	TappoBussola	-	1	A3.006
19	bussola	-	1	A3.005
18	montanteD40-Blocco	Montante 02	1	A2.004
17	boccola	-	1	A3.011
16	volano	-	1	A3.012
15	montantebloccoFW	Montante 03	1	A2.010
14	tappoD40	Tappo 01	1	A3.003
13	montanteD30-Blocco	Montante 01	1	A2.002
10	shaft_block	-	1	-
8	mozzo_modificato	-	1	A3.009_a
7	bearing_d40818	SKF 2208E	2	In commercio
6	brushless	MPC Tetra115R9.2	1	In commercio
5	flangiaFW	Flangia	1	A3.008
4	freewheel	Tsubaki BB40 2K-K	1	In commercio
3	alberoXFreeWheel	Albero	1	A1.009
2	Piastra	Piastra	1	A1.001
1	Compact_media	SIT TC132	2	In commercio
Num. articolo	Nome file	Descrizione	Quantità	Dls.

Cicloergometro per handbike: azionamento

SERVOMOTORI BRUSHLESS

**MOTOR
POWER
COMPANY**

SERIE

TETRA 115SR7

COPPIA

7 Nm

FORMA D'ONDA SINUSOIDALE	SIMBOLI	UNITA'	TIPO DI AVVOLGIMENTO															
			12	14	15	16	17	18	19									
GIRI MOTORE	Tensione nominale drive 45 V (ac) trifase	[rpm]	1400															
	Tensione nominale drive 95 V (ac) trifase	[rpm]	3000	2000	1300													
	Tensione nominale drive 145 V (ac) trifase	[rpm]	4500	3000	2000	1500	1150											
	Tensione nominale drive 220 V (ac) trifase	[rpm]		4600	3000	2300	1700	1150										
	Tensione nominale drive 380 V (ac) trifase	[rpm]			5200	4000	3000	2000	1200									
SERVOMOTORE	DATI ELETTRICI																	
	N° Poli	P					6											
	Coppia rotore bloccato	Cn0	[Nm]				7.00											
	Costante di tensione ± 5%	Ke	[Vms/Krpm]	24.0	36.0	55.0	72.5	96.7	145.0	241.7								
	Costante di coppia ± 5%	Kt	[Nm/Ams]	0.40	0.60	0.91	1.20	1.60	2.40	4.00								
	Corrente a rotore bloccato	In0	[Arms]	17.63	11.75	7.694	5.84	4.38	2.92	1.75								
	Picco di coppia allo spunto	Cmax	[Nm]				21.00											
	Corrente al picco di coppia	Icmax	[Arms]	52.9	35.3	23.1	17.5	13.1	8.8	5.3								
	Corrente massima	I max	[Arms]	61.7	41.1	26.9	20.4	15.3	10.2	6.1								
	R. fase/fase ± 10% a 25°C	Rff	[Ohm]	0.25	0.53	1.20	2.17	3.71	8.70	23.40								
	Induttanza fase/fase	Lff	[mH]	0.80	1.80	4.05	6.61	12.01	27.61	76.05								
	Costante di tempo elettrica	Te	[ms]	3.24	3.38	3.38	3.04	3.24	3.17	3.25								
	Costante di tempo termica	Tt	[min]				30											
	Temperatura operativa	Tr	[°C]				0 + 40											
	Grado di protezione	IP					65 (*)											
	Classe d'isolamento						F											
	SERVOMOTORE	DATI MECCANICI																
		Momento d'inerzia a/b	Jm	[Kg cm²]				14.1/8.8										
Max. accelerazione teorica		omax	[rad/s²]				14883/23864											
Costante di tempo meccanica a/b		Tm	[ms]	2/3.2	1.9/3.1	1.9/3	2/3.1	1.9/3	2/3.2	2.9/4.6								
Coppia di dentellamento		Toog	[Nm]				0.21											
Coppia smorzamento a 1000 rpm		Td	[Nm]				0.083											
Max. carico radiale (a 3000 rpm)		Fr	[N]				600 (applicato sulla mezziera dell'albero)											
Max. carico assiale		Fa	[N]				180 (applicato sulla mezziera dell'albero)											
Peso	M	[Kg]				7.5												

Cornet Full Digital Servo Drive

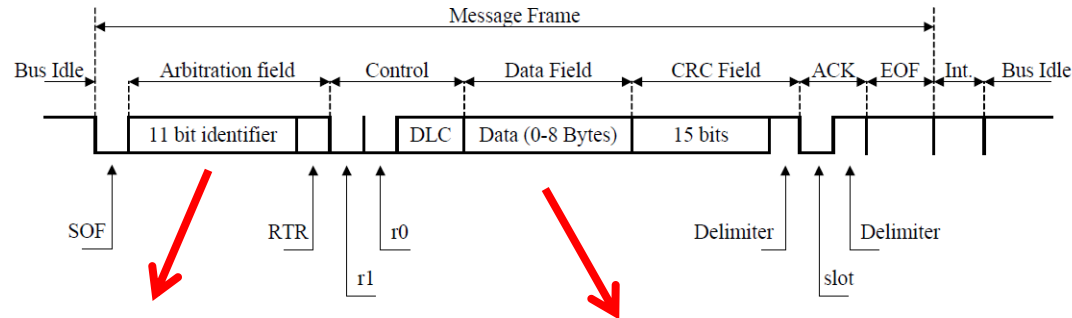


Feature	Units	1/230	3/230	5/230	7/230	9/230	1/460	3/460	6/460	
Minimum supply voltage	VAC	60						140		
Nominal supply voltage	VAC	1 x 115, 1 x 230, 3 x 230						3 x 400, 3 x 460		
Maximum supply voltage	VAC	1 x 270 or 3 x 270						3 x 505		
Maximum continuous power output	W	420	1050	1500	2100	2700	800	2000	3400	
Efficiency at rated power (at nominal conditions)	%	> 93								
Auxiliary supply voltage	VDC	24 ± 15%								
Auxiliary power supply	VA	20								
Amplitude sinusoidal/DC										
continuous current	A	1.4	3.5	5	7	9	1.4	3.5	6	
Sinusoidal continuous										
RMS current limit (Ic)	A	1	2.5	3.5	5	6.4	1	2.5	4.3	
Peak current limit	A	2 x Ic								
Built-in shunt (peak power)	kW	2.4						1.1	3.4	3.4
Weight	kg (lbs)	1.1 kg [2.4 lbs]								
Dimensions	mm (in)	180 x 123 x 75 (7.1" x 4.8" x 3")								
Digital in/Digital out/Analog in		10/6/2								
Mounting method		Wall mount ("Bookshelf") or DIN rail								

- motore brushless sinusoidale, $\omega_n=1150$ rpm, $C_n=7$ Nm
- convertitore: tecnologia digitale, comunicazione protocollo CANopen



Azionamento: protocollo di comunicazione



COB Type	Bits 8 - 11 of COB-ID
NMT	0000
SYNC	0001
Time Stamp	0010
Emergency	0001
PDO1 - Transmit	0011
PDO1 - Receive	0100
PDO2 - Transmit	0101
PDO2 - Receive	0110
PDO3 - Transmit	0111
PDO3 - Receive	1000
PDO4 - Transmit	1001
PDO4 - Receive	1010
SDO - Transmit	1011
SDO - Receive	1100
Error control (node guarding)	1110

Client to server:

0			1		8
7...5	4	3...1	0		
css = 0	t	n	c	seg-data (segment data)	

Server to client:

0			1		8
7...5	4	3...0			
scs = 1	t	x		reserved	

where:

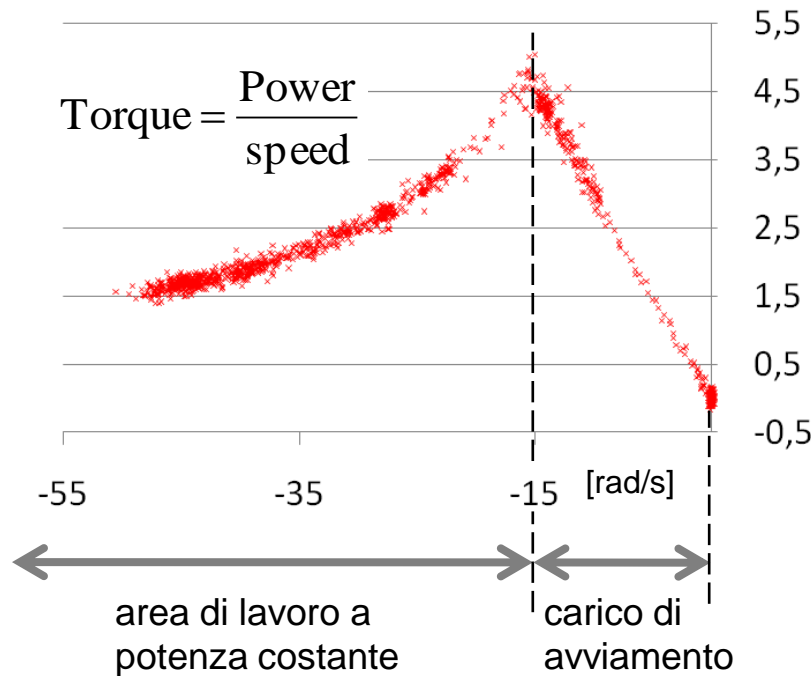
css Client command specifier
 0: Download segment request

scs Server command specifier
 1: Download segment response

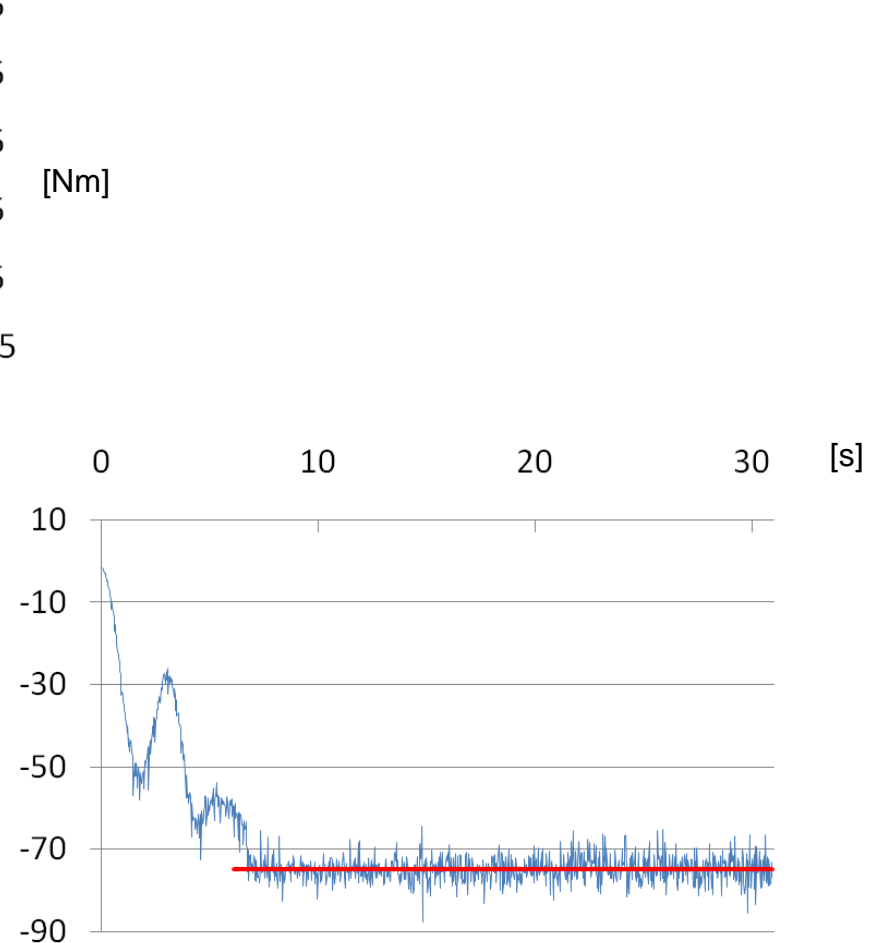
- **Data Field:** mappato i valori numerici di **C** e **ω**
- bit rate 1Mbit/s → “frame rate” ≈ 3 kHz



Cicloergometro per handbike: Potenza Costante

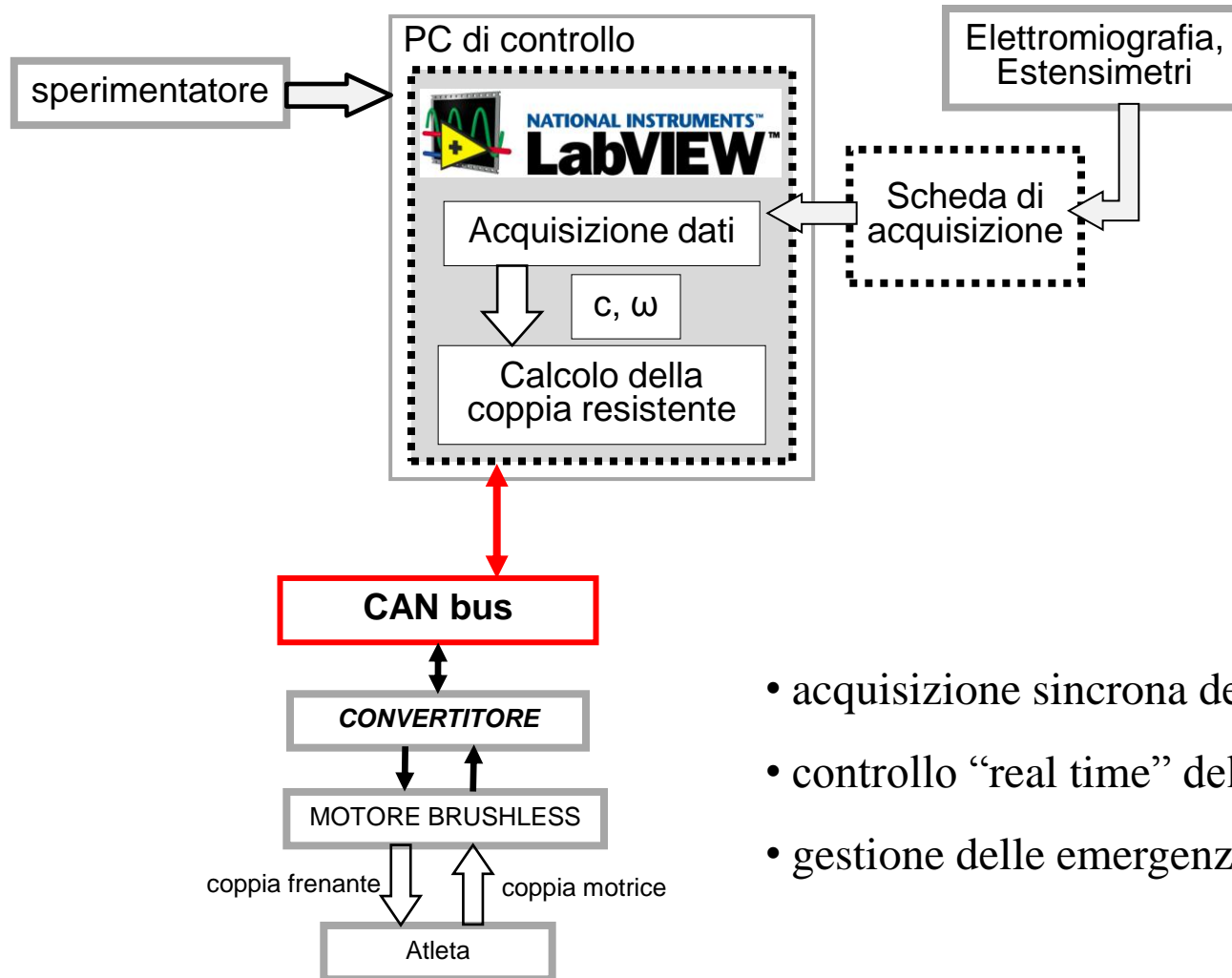


PROFILO DI COPPIA



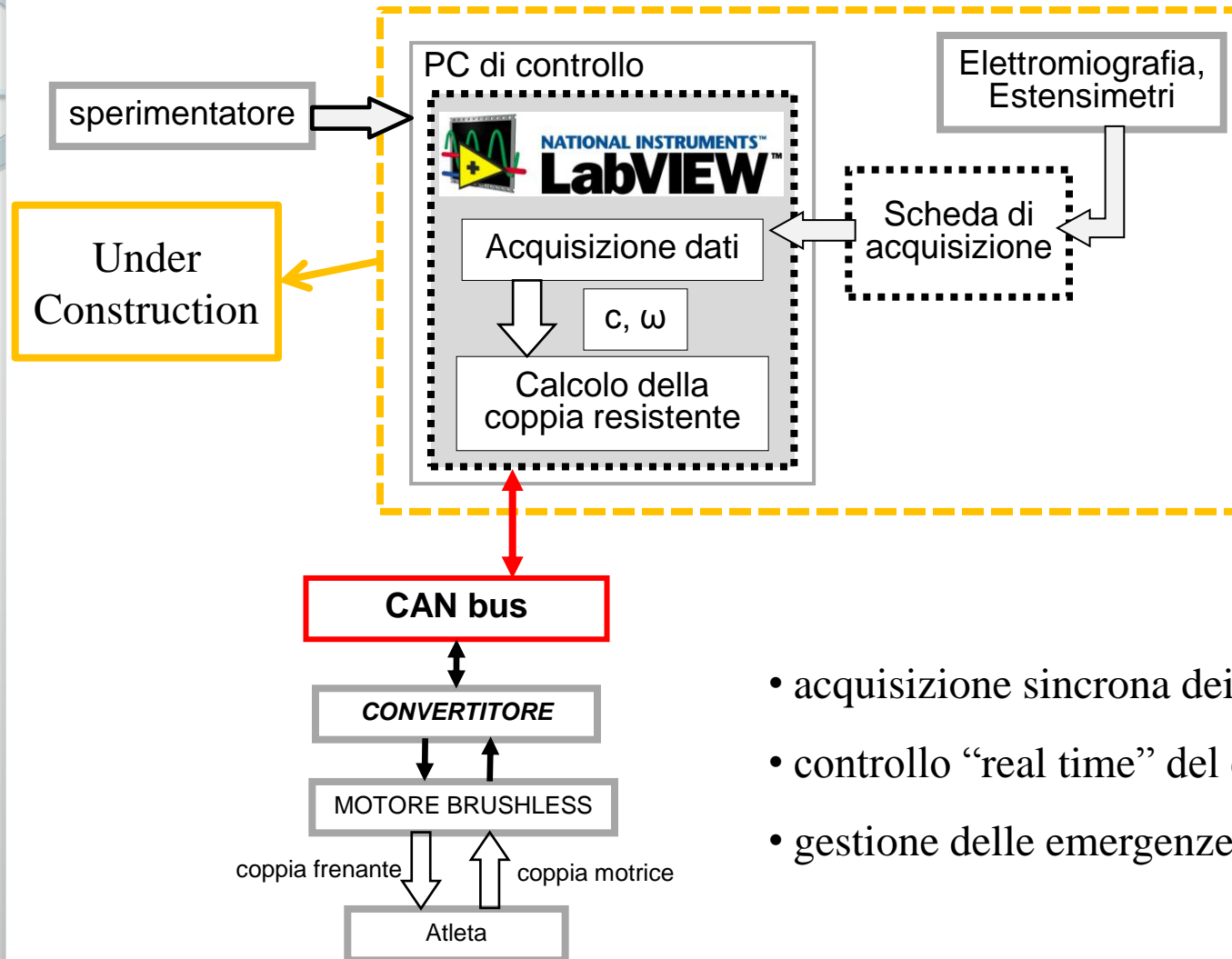
POTENZA IN USCITA

Interfacce, comunicazione e sviluppi futuri



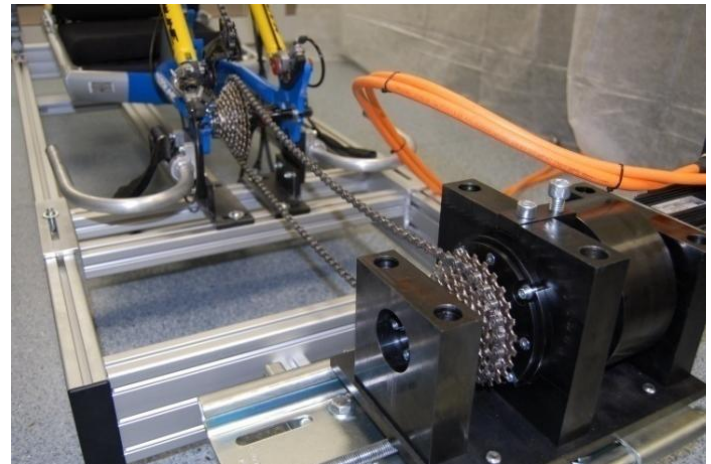
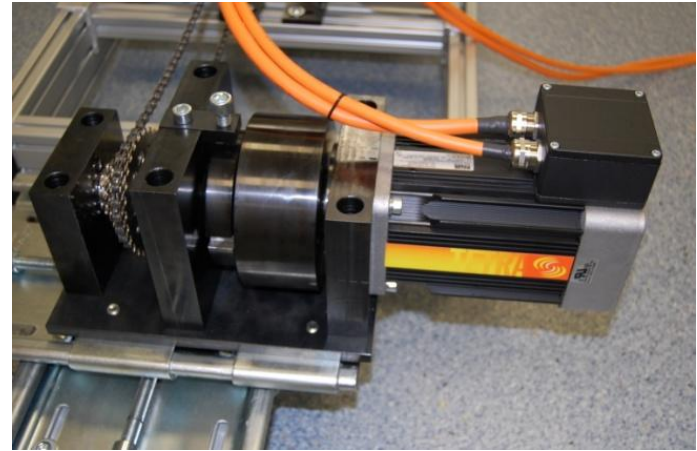
- acquisizione sincrona dei dati
- controllo “real time” del carico di lavoro
- gestione delle emergenze

Interfacce, comunicazione e sviluppi futuri



- acquisizione sincrona dei dati
- controllo “real time” del carico di lavoro
- gestione delle emergenze

Cicloergometro per handbike



Strumenti

Cicloergometro per handbike

Modelli

Analisi cinematiche del rachide

Corsi, Convegni, Pubblicazioni



Strumenti

Cicloergometro per handbike

Modelli

Analisi cinematiche del rachide

Corsi, Convegni, Pubblicazioni





Rachide: complesso osteoartromuscolare di sostegno per testa, tronco, arti superiori

Colonna vertebrale: lo scheletro del rachide, costituito da 33–34 vertebre articolate tra loro

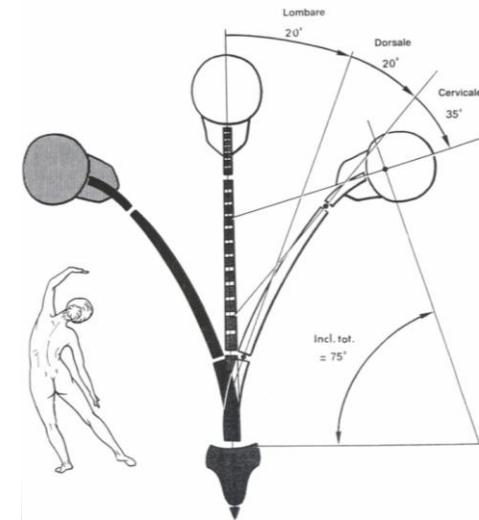
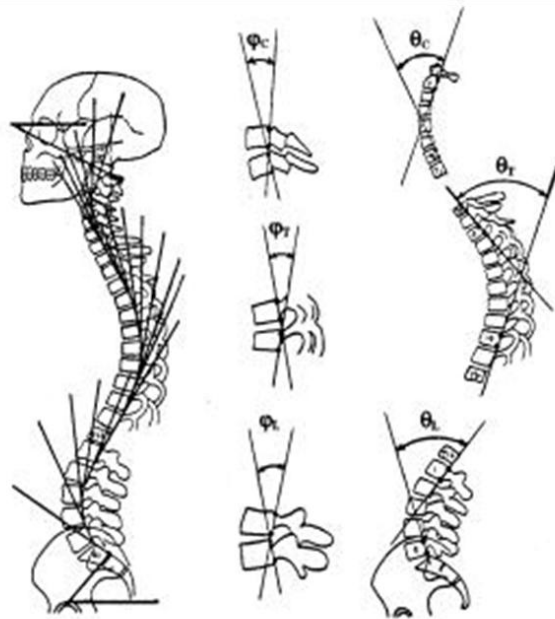
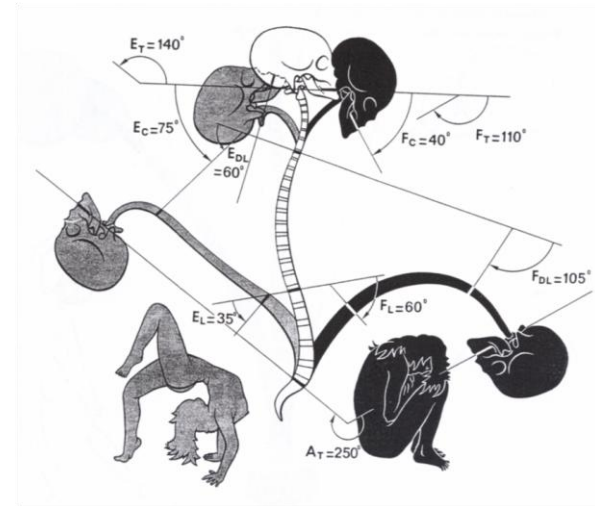


PATOLOGIE

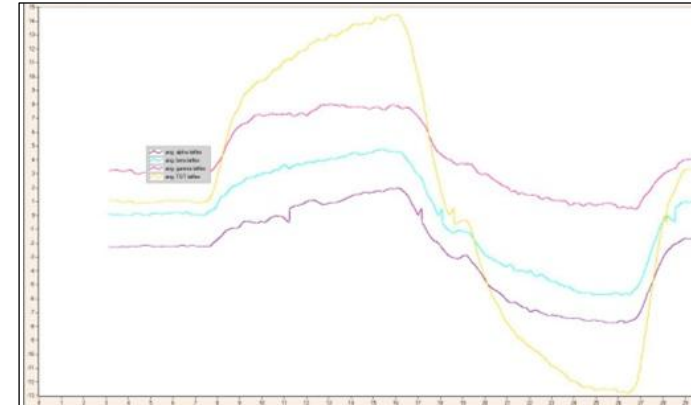
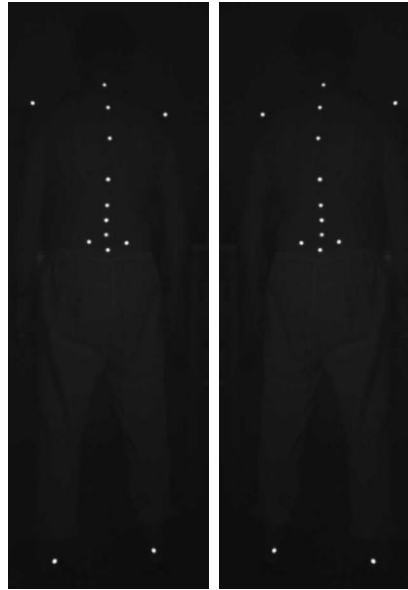
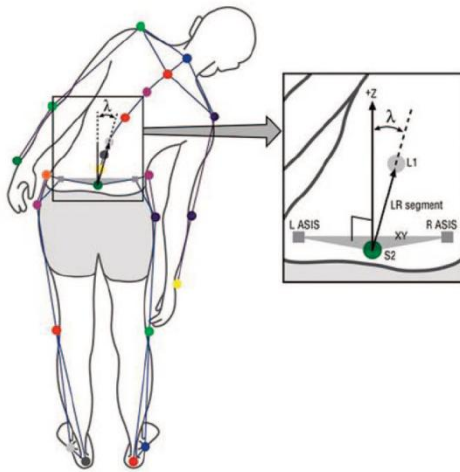


TERAPIE

- **Curvature fisiologiche:**
 - 2 lordosi
 - 1 cifosi
- **Movimenti fisiologici:**
 - flesso – estensione
 - flessione laterale



Analisi Cinematiche del Rachide



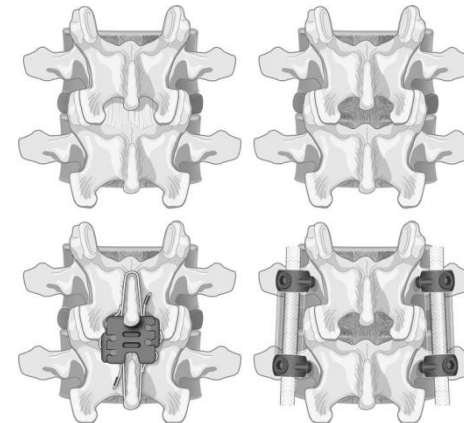
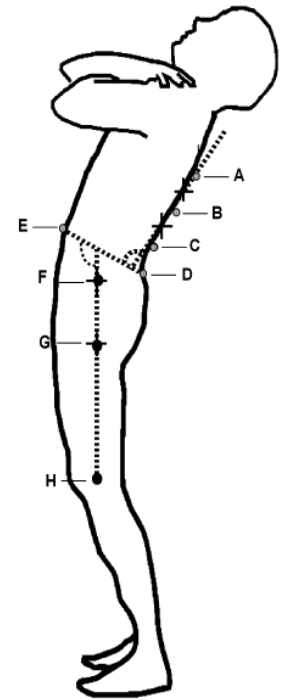
Sviluppare e testare protocolli d'esame semplici e non invasivi

Risultati quantitativi ↔ programmare e verificare gli effetti delle terapie

Analisi Cinematiche: sviluppi futuri

Protocolli di acquisizione e analisi per:

- Analisi del cammino (protesi d'anca e ginocchio)
- Stabilizzazione vertebrale
- Movimenti di reaching mano-bocca
- Morbo di Parkinson
- Lombalgie e cervicalgie
- Stabilometria
- ...



Strumenti

Cicloergometro per handbike

Modelli

Analisi cinematiche del rachide

Corsi, Convegni, Pubblicazioni



Strumenti

Cicloergometro per handbike

Modelli

Analisi cinematiche del rachide

Corsi, Convegni, Pubblicazioni



Corsi, convegni, pubblicazioni

Frequenza a corsi, congressi

- Corso di programmazione Simulink e SimMechanics, febbraio 2009, Brescia;
- Corso Nazionale di Robotica e Automazione, giugno 2009, Torino;
- 12th International Symposium on Computer Simulation, luglio 2009, Cape Town;
- XXIInd Congress of the International Society of Biomechanics, luglio 2009, Cape Town;
- Corso in Bioingegneria delle Neuroscienze cognitive, settembre 2009, Bressanone;
- XIX^o Congresso AIMETA, settembre 2009, Ancona;

Pubblicazioni

- Ometto, M., Legnani, G., “Instrumentation of a Handbike for biomechanical measurements” in *XXII Congress of the International Society of Biomechanics Proc., Cape Town, South Africa, July 5-9, 2009;* (abstract)
- Ometto, Gobbo, Bissolotti, Gaffurini, Legnani, “Instrumentation of a handbike for biomechanical measurements” in *XIX Congresso AIMETA Proc., Ancona, Italy, September 14-19, 2009* (article)





Grazie dell'attenzione

Università degli Studi di Brescia
Facoltà di Ingegneria
Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale

