



Università degli Studi di Sassari

inaugurazione del 451^o anno accademico

università di **SASSARI**
2012-2013
SVSCEPTVM PERFICE MVNVS

Interventi

aula magna, 9 novembre 2012

Programma

Mattina

ore 12.00

Inaugurazione del nuovo ospedale veterinario

Pomeriggio

ore 17.30

Ingresso del corteo accademico

ore 17.40

Attilio Mastino, Rettore dell'Università di Sassari

Relazione introduttiva

ore 18.10

Gabriele Casu, Presidente del Consiglio degli Studenti

ore 18.20

Grazia Toccu, Rappresentante del Personale tecnico-amministrativo

ore 18.30

Marco Calaresu, Rappresentante dell'Associazione dei Dottorandi e dottori di ricerca italiani - Sassari

ore 18.40

Jordi Montaña, President de la Xarxa Vives d'Universitats i rector de la Universitat de Vic

ore 18.45

Marc Mayer i Olivé, Università di Barcellona

La Sardegna nel mondo catalano

ore 19.05

Andrea Cereatti, Ricercatore di Bioingegneria

Prolusione: Sensori indossabili e modelli biomeccanici applicati al movimento umano

ore 19.25

Conclusioni

Con la partecipazione di:

Coro dell'Università di Sassari, diretto dal Maestro Daniele Manca

Gruppo etnomusicologico dell'Università di Sassari "ICHNVSS"

Seguirà un'allocuzione di

Christian Sanna, Pontefice Massimo Canonau I "Cionfraiolo"

dell'Associazione Goliardica Turritana

La cerimonia sarà trasmessa in diretta streaming: www.uniss.it

Il volume è stato curato dall'Ufficio Comunicazione dell'ateneo

Gabriele Casu

Presidente del Consiglio degli studenti

Porgo un saluto a tutti i convenuti, Autorità civili, accademiche e religiose, Colleghi studenti, Ricercatori, Personale docente e non docente.

Un saluto e ringraziamento anche a tutto il Consiglio degli studenti, qui presente, per il sostegno e il lavoro che ha svolto finora.

Nell'undicesimo rapporto sullo stato del sistema universitario redatto dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca, l'Italia si pone all'ultimo posto per rapporto tra investimenti nell'istruzione terziaria e PIL tra gli stati membri dell'Unione Europea. Per il triennio 2012-14, relativamente al comparto Università, è previsto, secondo il Comitato Universitario Nazionale, un taglio di un ulteriore 13% dei finanziamenti ministeriali.

In questo difficile contesto nazionale, l'Università di Sassari ha visto il suo Fondo di Finanziamento Ordinario (FFO) calare in tre anni da 83 a 72 milioni di euro. Oltre ai tagli sui finanziamenti alle Università questa importante diminuzione è dovuta all'aumento della quota premiale del FFO, arrivata nel 2012 al 13% (910 milioni di euro), che ha fatto perdere all'Ateneo Turritano 2,18 milioni di euro nel 2011 ed altri 4,2 milioni nel 2012.

Quest'anno, per sopperire alle esigenze di un bilancio sempre più difficile da chiudere, l'Ateneo ha preso la sofferta decisione di innalzare la pressione contributiva sugli studenti con aumenti "a pioggia" per studenti regolari e fuori corso.

Per l'anno in corso, l'Ente Regionale per il diritto allo Studio Universitario di Sassari ha subito il taglio nei trasferimenti da parte della Regione Autonoma della Sardegna di 900 mila euro per le borse di studio, 500 mila euro per i servizi mensa e 450 mila euro per il contributo "fitto casa".

Questo ha costretto l'amministrazione dell'Ente a rivedere le tariffe mensa con un aumento medio del 20%. La copertura delle borse, nonostante i tagli, sarà comunque garantita "grazie" all'aumento della tassa regionale per il diritto allo studio passata, in attuazione del d.lgs 68/2012, da 62 a 140 euro per studente.

I nostri indicatori ministeriali ci pongono in quarantunesima posizione su 54 Atenei per quanto riguarda la didattica ed in trentaquattresima per quanto riguarda la ricerca.

Per quanto attiene specificatamente alla didattica c'è ancora tanto da fare; fondamentale è il recupero degli studenti fuori corso e degli studenti fantasma che, come risaputo, penalizzano il nostro Ateneo; inoltre è necessaria una programmazione dell'offerta formativa in concerto con l'Ateneo di Cagliari che prenda in considerazione la quantità e la qualità dei corsi di studio e che si adegui alle richieste del territorio fornendo un titolo di studio effettivamente spendibile.

Il Comitato Regionale di Coordinamento delle Università sarde è l'organo dove questo discorso è attuabile e sostenibile.

Le Università di Sassari e Cagliari non devono temere il confronto reciproco ma quello con gli aeroporti dell'Isola, luoghi di transito sempre più frequentati dagli

studenti sardi in partenza verso gli Atenei della penisola.

Quest'anno, dopo quasi due anni di supplenze non pagate, i docenti del corso di studi in Scienze forestali si sono rifiutati di garantire l'attività didattica. Gli enti locali e gli altri partner dell'Ateneo nei consorzi hanno dimostrato di non avere la possibilità o la volontà di investire nell'Università sul territorio nel momento in cui i trasferimenti regionali si fanno sempre più incerti.

Dobbiamo prendere le distanze dalle logiche politiche che hanno guidato fino ad ora la territorializzazione dell'Università. E' necessario dar vita ad un percorso comune che sia frutto di programmazione strategica e non di corsa ai ripari. Allo studente che si iscrive in una sede gemmata deve essere garantito un percorso di studio di qualità, se questo non è possibile si abbia il coraggio di fare un passo indietro!

Lungi dal sostenere che queste sedi debbano esistere ad ogni costo, ritengo indispensabile che vengano sostenute quelle sedi che sono esigenza del territorio con potenzialità tangibili, patrimonio della collettività e non della politica.

Quello che si è concluso è stato un anno di difficile transizione, al nostro Ateneo va riconosciuto il merito di esser stato uno dei primi in Italia ad aver dato applicazione alla legge 240/10. Prima con la stesura di un nuovo Statuto che fosse condiviso da tutti e prevedesse una *governance* adatta alle esigenze del nostro Ateneo, e poi affrontando in maniera rapida, l'accidentato percorso di costituzione di Dipartimenti, Strutture di raccordo ed Organi di governo.

Noi studenti siamo stati in grado di cambiare volto a questa città organizzandoci in decine di associazioni presenti in tutti i Dipartimenti. Attualmente stiamo collaborando con il Comune di Sassari, l'Università e l'ATP al bando "Unicità" dell'Associazione Nazionale Comuni Italiani che permetterà di fornire un contributo decisivo allo sviluppo urbano e alla crescita dell'intero territorio, fornirà occasioni di lavoro temporaneo agli studenti, migliorerà i processi di accoglienza e orientamento e favorirà l'utilizzo degli impianti sportivi universitari che, per troppo tempo, non sono stati utilizzati in modo proporzionale alle loro potenzialità.

Concludo con una frase di Warren Edward Buffett che disse: "C'è qualcuno seduto all'ombra oggi perché qualcun altro ha piantato un albero molto tempo fa".

Gli anni a venire sicuramente non saranno anni nei quali potremmo riposarci all'ombra, ma anni in cui dovremmo lavorare tutti sotto un sole cocente. Per raggiungere obiettivi comuni c'è bisogno di tanto lavoro e il supporto di personale altamente qualificato, ma non basta, prima di tutto bisogna costruire un dialogo che metta in contatto la diversità di conoscenze affinché si instauri un confronto serio e proficuo. Penso che la ricerca universitaria ci possa offrire un chiaro esempio di come gli obiettivi si possano raggiungere solamente con il lavoro e la conoscenza. I nostri docenti, ricercatori, studenti dottorandi e specializzandi lo sanno bene!

Auguro a tutti coloro che si impegnano quotidianamente e si impegneranno per rendere più efficiente il nostro Ateneo di non perdere mai la dedizione e la passione per il proprio lavoro.

Buon lavoro a tutti.

Grazia Toccu

Rappresentante del personale tecnico-amministrativo in Consiglio di amministrazione

Magnifico Rettore, Direttore generale, Autorità accademiche e civili, colleghe e colleghi, studenti e graditi ospiti, mi è gradito porgere, a titolo personale e a nome di tutto il personale tecnico amministrativo, un saluto a tutti i partecipanti alla cerimonia di inaugurazione dell'anno accademico della nostra prestigiosa università, e nell'occasione porto alla vostra attenzione alcune brevi considerazioni non di rito che mi auguro siano utili per meglio rappresentare la nostra realtà di lavoratori dell'Ateneo.

Infatti, il momento di difficoltà che si registra in Italia e in Sardegna in particolare, non risparmia la scuola, l'intero sistema dell'istruzione e tanto meno l'università.

Gli effetti della crisi economica e sociale che investe l'Europa impattano su un territorio e su una regione che storicamente registrano ritardi e penalizzazioni importanti nei settori strategici dello sviluppo e che, in molti casi, non hanno ancora realizzato le pre-condizioni dello sviluppo quali sono quelle che attengono il credito, l'energia e i trasporti.

Le conseguenze sul piano dell'occupazione ed il lavoro sono tali da compromettere persino la speranza nel futuro e le iniziative disperate che fanno da contorno alle tante vertenze aperte in quest'isola, e nel nord-ovest in particolare, certificano una situazione di malessere che in alcuni casi si trasforma in autentico allarme per la tenuta sociale delle nostre comunità.

È questa la realtà di questi tempi e ritengo siano queste le ragioni per le quali una riflessione comune sia necessaria per ritrovare una più forte unità di azione per porre in essere, ciascuno nell'ambito delle proprie competenze, misure straordinarie per affrontare una situazione sempre più drammatica e eccezionale.

A ciò si aggiunga che per fronteggiare le diverse emergenze che in questi anni la crisi ha portato alla luce, le politiche governative hanno colpito pesantemente il pubblico impiego, determinando il blocco della contrattazione, delle carriere, il congelamento delle retribuzioni fino al 2014. Assistiamo ad un graduale ridimensionamento degli organici a causa della cosiddetta barriera del turn over mentre il potere d'acquisto dei salari è diminuito al punto che, come è noto, i nostri stipendi sono tra i più bassi d'Europa.

Nessuno di noi pone in dubbio gli obiettivi del contenimento della spesa pubblica e la lotta agli sprechi nelle pubbliche amministrazioni, ma nessuno di noi può esimersi dal constatare che le misure restrittive poste in essere sono tali da rendere sempre più difficile lo sviluppo dell'innovazione e della ricerca.

Ma se le difficoltà economiche sono eccezionali per intensità e frequenza non sono invece una novità le problematiche evidenziate dal personale tecnico amministrativo nel corso degli ultimi anni.

L'elenco che mi accingo a fare è il medesimo che hanno fatto i colleghi che prima di me hanno avuto l'onore di portare un contributo nella cerimonia di inaugurazione dell'anno accademico del nostro Ateneo: competenze; incertezza nel futuro; salari

inadeguati; mancata definizione di chiari obiettivi; formazione.

Così come resta pressante l'esigenza di una maggiore e più proficua sinergia tra l'Università e la Regione sui temi strategici dell'alta formazione e della sanità pubblica.

In particolare sulla sanità sarda l'approvazione dell'atto aziendale per quanto riguarda l'AOU di Sassari, dovrà non solo realizzare una integrazione sinergica tra le due istituzioni per la produzione di una assistenza di eccellenza ma dovrà portare a conclusione l'annosa vicenda, per quanto riguarda il personale medico e tecnico amministrativo universitario che opera all'interno della Facoltà di Medicina e Chirurgia, del riconoscimento delle professionalità con la conseguente e legittima applicazione degli istituti contrattuali previsti dai contratti collettivi e dalle normative vigenti.

Allo stesso modo va ribadito il ruolo fondamentale che il nostro Ateneo riveste nel territorio e nella nostra città per quanto attiene la produzione e la promozione di cultura, innovazione e internazionalizzazione.

A questo proposito una sottolineatura particolare meritano i cambiamenti che si registrano nell'università per effetto delle norme che, a partire dalla legge 240 del 2010, ne hanno accelerato la trasformazione.

La revisione statutaria ha modificato l'assetto organizzativo del nostro Ateneo interessando la gran parte delle strutture e introducendo un nuovo organo accademico, il Direttore generale, a cui spetta il compito di condurre la nostra Università verso un nuovo e più moderno modello dell'organizzazione interna.

Sono stati attivati i nuovi dipartimenti, riducendoli nel numero ma aumentandoli per dimensioni e competenze ed è stato riorganizzato l'intero sistema bibliotecario.

Il decreto delegato 18/2012, che attua una disposizione della legge Gelmini, ha portato un'ulteriore, importante innovazione nel sistema universitario in quanto prevede due cambiamenti radicali, che dovranno essere introdotti entro il 1° gennaio 2014: il passaggio dalla contabilità finanziaria di tipo pubblico a una economico-patrimoniale di tipo civilistico e l'adozione del bilancio unico in luogo dei molteplici bilanci autonomi dei Dipartimenti e degli altri Centri autonomi.

La nostra università dal 1° gennaio 2012 ha inoltre adottato il Bilancio unico di Ateneo e ci avviamo all'applicazione della contabilità economico patrimoniale con l'introduzione di un nuovo software gestionale.

Tutto questo con l'obiettivo e l'impegno di raggiungere elevati livelli di soddisfazione e migliorare l'efficacia e la qualità nella gestione del rapporto Ateneo-utenza.

Qualità che è legata indissolubilmente alla valorizzazione del capitale umano, al riconoscimento delle competenze e del costante aggiornamento professionale. E perché si compia un vero e proficuo processo di cambiamento sono necessari obiettivi chiari e condivisi in cui ciascuno trovi motivazione, soddisfazione e riconoscimento della propria professionalità

Ed è per queste ragioni che mi sento di affermare che, in un momento così difficile e complicato, il personale tecnico amministrativo ha contribuito con competenza e grande senso di appartenenza alla crescita dell'Università di Sassari.

Ed è sulla base di questa considerazione che tutti i lavoratori del nostro Ateneo

devono essere valutati come una risorsa fondamentale per la nostra crescita e per il nostro futuro.

Chiudo questo mio intervento augurando a tutte le componenti accademiche, ma soprattutto agli studenti, di poter insieme affrontare questo tempo difficile, mantenendo viva la possibilità di futuro.

Grazie e buon lavoro a tutti.

Marco Calaresu

Rappresentante dell'Associazione dei Dottorandi e Dottori di ricerca italiani - Sassari

In qualità di Rappresentante dell'Associazione Dottorandi e Dottori di ricerca Italiani (ADI), per la sede di Sassari, porgo il mio saluto al Magnifico rettore, al Prorettore, al Direttore generale, alle autorità, ai professori, al personale tecnico-amministrativo, alle colleghe e ai colleghi, agli studenti e al pubblico presente.

Il mio personale ringraziamento va al Magnifico rettore Prof. Attilio Mastino per averci dato voce nel corso di questa solenne Cerimonia, e ancora prima per averci supportato e seguito nel percorso di fondazione della sede locale dell'Associazione, che abbiamo recentemente portato a compimento con l'elezione dei nostri rappresentanti in seno al Consiglio nazionale dell'ADI. Un ringraziamento particolare da parte mia va anche al Rappresentante dei dottorandi di ricerca, Salvatorico Razzu, e più in generale ai rappresentanti dei dottorandi e degli assegnisti di ricerca nelle diverse Scuole e Dipartimenti dell'Ateneo, per aver sin da subito avviato con noi un rapporto di fruttuosa collaborazione.

L'Associazione che oggi mi onoro di rappresentare si propone come fine ultimo quello di tutelare dottorandi e giovani ricercatori, e lavora da oltre un decennio, sul piano nazionale, per dare maggiore valore al titolo di Dottore di ricerca, portando avanti battaglie volte alla tutela e all'estensione dei diritti della categoria, anche al di fuori dell'Accademia. Il diritto alla rappresentanza di dottorandi e precari, il superamento della stessa condizione di precariato, norme più efficaci e trasparenti per il reclutamento, un sistema di valutazione e di retribuzione adeguato agli standard europei ed internazionali, il riconoscimento del titolo di Dottore di ricerca all'interno della Scuola e della Pubblica Amministrazione, rappresentano solo alcuni esempi di tali battaglie.

Il nostro Ateneo meritava, per storia e tradizione, capitale umano e capacità organizzative, di avere una propria sede locale, al pari dei più importanti Atenei italiani, per garantire ai suoi dottorandi e dottori di contribuire adeguatamente al dibattito nazionale ed europeo. Siamo dunque orgogliosi di aver ottenuto questo risultato.

Con la nostra azione, che ha progressivamente coinvolto un altissimo numero di giovani dottorandi e dottori afferenti ai diversi Dipartimenti, crediamo di aver colmato un vuoto di rappresentanza sociale, incentivando ad una maggiore condivisione, inclusione e partecipazione alla vita dell'Ateneo, una figura accademica sempre più centrale, anche se spesso non adeguatamente riconosciuta, per l'attività di ricerca e nel lavoro giornaliero delle Università.

Nel corso di questo mio breve intervento tenterò di riassumere quelle che sono le proposte per la riforma del dottorato e del post-dottorato, e per la valorizzazione del titolo, elaborate in sede di dibattito congressuale dell'Associazione, e consegnate nella mani del Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca, prof. Francesco Profumo, in occasione di un suo recente incontro con il Consiglio Nazionale degli Studenti Universitari (CNSU).

A nostro avviso, occorre anzitutto ripensare la figura del dottorando: ad esso va riconosciuta la qualifica e la dignità del “professionista in formazione”, con il suo importante contributo all’avanzamento della ricerca, così come previsto dalla Carta europea dei ricercatori, adottata all’unanimità dai Magnifici rettori delle Università italiane, in data 7 Luglio 2005. Affinché questo avvenga, la nostra proposta mira alla trasformazione del Dottorato di ricerca in un “contratto a causa mista”, in grado di riconoscere al dottorando lo status di lavoratore della conoscenza, ed i diritti ad esso collegati, quali maternità, malattia e previdenza sociale. Continuando però a garantirgli, come “ricercatore in formazione”, il diritto allo studio nelle sue diverse declinazioni: mobilità, supervisione, accesso alle strutture didattiche e qualità dell’offerta formativa.

È altresì necessario vigilare sulla riorganizzazione delle Scuole di dottorato attualmente in corso negli Atenei italiani, frutto del combinato disposto della applicazione della legge 240/2010 e delle riduzioni ministeriali al Fondo di Finanziamento Ordinario. L’Associazione Dottorandi e Dottori di ricerca Italiani rifiuta con forza la possibilità che la razionalizzazione dei corsi funga da pretesto per ridimensionare i posti di Dottorato messi a bando, che già ora si collocano al di sotto degli standard internazionali.

Contestualmente alla riforma dei percorsi di Dottorato e della figura del dottorando, ADI si batte per tutelare gli assegnisti di ricerca e, più in generale, i ricercatori impegnati in percorsi post-dottorali, affinché ne venga riconosciuta l’importanza e la professionalità all’interno della comunità accademica. Le regole per il reclutamento sono state di recente modificate dalla già citata “Riforma Gelmini” (legge 240/2010): più che stravolgerle, occorrerebbe a nostro avviso semplificarle, giacché la formula “Assegno di ricerca - Ricercatore a tempo determinato di tipo A e B”, ha di fatto bloccato (anche a causa di un inadeguato apporto finanziario), il processo di reclutamento e il necessario turn-over all’interno delle Università. Più in generale, non sembra essere ulteriormente emendabile un piano strutturale di programmazione per il reclutamento dei giovani ricercatori precari nelle Università e negli enti di ricerca, tale da garantire, da un lato, competitività internazionale ed elevati standard di qualità al sistema universitario italiano, e dall’altro, fermare l’emigrazione forzata dei talenti.

In questa prospettiva, sarebbe opportuno individuare una nuova categoria di “ricercatore non strutturato”, in cui vadano a confluire le due tipologie attuali di “Assegnista di Ricerca” e di “Ricercatore a tempo determinato”, sulla base di una piena equiparazione di diritti e doveri con i “Ricercatori a tempo indeterminato”, con la sola differenza di un contratto a termine.

L’Associazione Dottorandi e Dottori di ricerca Italiani, come ricordato, ha tra i suoi scopi associativi anche la valorizzazione e la spendibilità del titolo di dottore di ricerca, non soltanto all’interno della *tenure-track* accademica, ma anche nella Scuola e nella Pubblica Amministrazione.

Sebbene il titolo di Dottore di ricerca, introdotto in Italia con legge 28/1980, sia indicato dal Processo e dalla Dichiarazione di Bologna come il più alto grado di istruzione universitaria cui è possibile accedere, a tale enunciazione non sembrano

corrispondere eguali riconoscimenti nella disciplina di ingresso nei ranghi del sistema di istruzione secondaria e più in generale del sistema concorsuale italiano.

Nello specifico, per quanto riguarda la Scuola Pubblica, allo stato attuale il Dottorato di ricerca non consente di accedere direttamente ai Tirocini Formativi Attivi (TFA) previsti dalla riforma. Il titolo di Dottore, sulla base del Decreto Ministeriale 11/2011, è considerato come “titolo culturale” e non come “titolo di studio”, consentendo di fatto al candidato in possesso del suddetto titolo, soltanto di ottenere un punteggio aggiuntivo.

Considerare a fini concorsuali il Dottorato come “titolo di studio”, consentirebbe invece l'accesso dei candidati alle classi concorsuali attinenti al percorso di formazione dottorale perseguito, anche se differenti rispetto a quelle della Laurea triennale e magistrale; favorendo così di conseguenza l'accesso dei Dottori di ricerca all'insegnamento secondario, con relativa infusione nel sistema dell'istruzione di elevate competenze professionali e disciplinari.

Ulteriore criticità, rispetto alla valorizzazione non accademica del titolo di Dottore di ricerca, è legata alla valutazione disomogenea e generalmente sottostimata del titolo stesso, nella determinazione dei punteggi concorsuali della Pubblica Amministrazione: non si contano, infatti, le situazioni in cui al candidato in possesso del titolo non vengono attribuiti punteggi aggiuntivi, a fianco di casi in cui il valore dello stesso viene considerato come equivalente a quello di un altro titolo successivo alla Laurea, quale ad esempio un Master di primo livello. Ad oggi, inoltre, non sussistono le condizioni normative in grado di garantire ai dottori di ricerca l'accesso ai ruoli dirigenziali dello Stato, al pari degli specializzati medici e sanitari. Tra le molteplici proposte di riforma elaborate dall'Associazione, merita a mio avviso di essere segnalata la possibilità di prevedere dei posti riservati ai soli dottori di ricerca, in modo da tutelare il diritto dei laureati di concorrere al ruolo, e al contempo di valorizzare il percorso, anche professionale, del Dottore di ricerca, che potrà in questo modo mettere le proprie conoscenze specialistiche al servizio del pubblico.

In conclusione, consentitemi di fare un accenno a quella che è la più importante battaglia condotta dalla sede sassarese dell'Associazione, grazie al lavoro del collega assegnista dott. Alberto Valenti, ed al prezioso sostegno del Rettore Mastino: il riconoscimento dell'indennità una tantum a conclusione del periodo di Dottorato, e del contratto dell'attività di ricerca.

Secondo la normativa vigente in materia di sostegno al reddito per i lavoratori parasubordinati (come individuati dall'art. 2, comma 26, della legge 335/1995), è prevista un'indennità una tantum spettante per i contribuenti alla “gestione separata”, tra cui figurano proprio gli assegnisti e i dottorandi di ricerca.

L'Ateneo versa circa il 27% dell'importo corrisposto come compenso nell'anno (per i 2/3 a carico dell'Università e per 1/3 a carico del collaboratore), nel fondo INPS. Ciò comporta un esborso complessivo di quasi 10.000,00 Euro per singolo dottorando e assegnista; al suddetto obbligo contributivo dell'Ateneo e del collaboratore, attualmente, non corrisponde una contro-prestazione previdenziale.

Infatti, se in una prima fase l'INPS, anche nella sede provinciale di Sassari, ha ero-

gato l'indennità riconoscendo il diritto alla prestazione una tantum, dall'Aprile 2012 ha modificato il proprio orientamento sulla legittimità delle richieste, rigettando tutte le domande ricevute dopo quella data e aprendo così, di fatto, una controversia. Secondo l'interpretazione dell'Ente previdenziale, i dottorandi e gli assegnisti non sarebbero più da ricondurre alla tipologia contrattuale del lavoro a progetto. L'inquadramento operato dall'INPS escluderebbe però in questo modo, sia per l'Ateneo che per i dottorandi, anche l'obbligo di versamento. Giacché, da un lato, il regime delle borse di studio esenta dall'obbligo previdenziale, mentre dall'altro, per gli assegnisti la qualificazione del rapporto corrisponde in maniera univoca alla fattispecie prevista proprio per il lavoro a progetto.

Il Rettore Mastino si è fatto portatore delle istanze dei dottorandi e degli assegnisti di ricerca del suo Ateneo, presentando la vertenza all'attenzione della Conferenza dei Rettori delle Università Italiane (CRUI) che, come si evince dal verbale del 21 giugno 2012, si è pronunciata sulle problematiche esposte, auspicando che vengano salvaguardati i diritti in materia pensionistica di assegnisti, dottori di ricerca e altro personale precario delle Università.

Lo stesso Magnifico rettore, più di recente, ha inviato la documentazione relativa al "caso una tantum" al Ministro Profumo, interessando così della vicenda, con nostra grande soddisfazione, il più alto livello istituzionale.

Ringraziandovi per l'attenzione, a tutti noi l'augurio di un buon lavoro nel corso del 451esimo anno accademico, sempre al servizio della nostra Università.

Jordi Montaña

President de la Xarxa Vives d'Universitats i rector de la Universitat de Vic

Magnífic Rector de la Universitat de Sàsser Attilio Mastino, Autoritats acadèmiques, civils, militars i religioses, Estudiants, Senyores i senyors,

En primer lloc, vull felicitar a la Universitat de Sàsser per haver superat la fita dels 450 anys acadèmics.

Vull agrair la invitació del rector Mastino a intervenir en aquest acte acadèmic d'inauguració de curs. Un honor que implica també un exercici de retrobament i memòria històrica, perquè aquesta Universitat va comptar entre el grup dels seus fundadors amb un jesuïta català, Baltasar Pinyes.

La Xarxa Vives és una associació que reuneix 21 universitats, públiques i privades, dels territoris de parla catalana; de fet, des de la incorporació de la Universitat de Sàsser l'any 2010, som la única institució amb presència en tots els territoris històrics: del País Valencià a l'Alguer, passant per Catalunya, les Illes Balears, la Catalunya Nord o Andorra.

Ens uneixen uns valors que compartim: la col·laboració interuniversitària, la voluntat de projecció i servei conjunt a la societat, així com els vincles geogràfics, històrics i culturals que ens agermanen. Som universitats de 4 estats, tres d'ells membres de la Unió Europea (Itàlia, Espanya, França i Andorra), i la Xarxa ens ofereix l'oportunitat de treballar junts en una plataforma de serveis de qualitat. Una aliança de coneixement que aporta beneficis a les respectives comunitats universitàries, amb uns resultats significatius, entre els quals esmentaré alguns:

- La regió Vives aplega més de la meitat de campus d'excel·lència internacional aprovats a l'Estat espanyol.
- Més del 50% de les patents universitàries en explotació a l'Estat espanyol.
- Un terç dels investigadors d'Espanya i més del 35% de la producció científica.
- A més, 12 universitats compten amb parcs científics-tecnològics.

Però no només parlem de quantitats, sinó de qualitats. A la Xarxa es fa la ciència més competitiva de l'Estat espanyol. Dos dels territoris de la regió Vives, Catalunya i les Illes Balears, són les àrees líders en publicacions amb major impacte internacional, segons dades oficials del Govern espanyol.

En aquest context, la nostra Xarxa ha anat bastint en els darrers 18 anys una xarxa de complicitats institucionals que no només permet el desenvolupament d'actuacions interuniversitàries, sinó que també representa davant la Unió Europea una regió universitària internacional. La força de 21 universitats unides per una estratègia i uns objectius comuns.

Només d'aquesta manera, sobre la base d'un horitzó compartit i amb la voluntat ferma de fer el camí junts, pren tot el sentit el bagatge de la nostra associació com una xarxa internacional que s'ha consolidat com una referència de qualitat en la gestió integral de projectes que superen fronteres. En aquest sentit, la cooperació al desenvolupament ha estat un dels camps on hem treballat més, fins acumular un grau d'experiència que avui és el millor aval per al futur. Als anys 90, la Xarxa va participar

molt activament en la reconstrucció del sistema universitari a Kosovo, després de la terrible guerra dels Balcans. Posteriorment, el Programa Algèria Universitats ens ha permès desenvolupar 25 projectes de docència, recerca i transferència del coneixement, conjuntament amb 16 universitats de l'oest d'Algèria. Però en paral·lel, també hem treballat en projectes netament europeus, com el POCTEFA Cultur Pro, finançat pels fons FEDER de la Unió Europea a través dels Programes Operatius de Cooperació Territorial Espanya-França-Andorra 2007-2013. A través de la formació en llengua i cultura professional, el projecte ha contribuït al desenvolupament territorial integrat, mitjançant la cooperació i l'intercanvi d'experiències interregionals. Centenars de professionals catalans i francesos han optimitzat les seves possibilitats de treballar a l'altre costat de la frontera, en aprendre la llengua del veí.

A partir d'aquesta experiència acumulada, i amb l'objectiu d'aprofitar-la i posarla al servei de la societat, la Xarxa Vives treballa actualment en la preparació de nous projectes europeus, vinculats a organitzacions empresarials com FemCAT o Ferrmed. El foment de la mobilitat transnacional o la intensificació i optimització del sistema de pràctiques en empreses són alguns dels reptes que requereixen d'una resposta basada en la cooperació entre els dos àmbits: la universitat i l'empresa. A la Xarxa considerem imprescindible aquesta aliança del coneixement per a fer possibles els millors resultats, en línia amb l'estratègia 2020 de la Unió Europea. Una de les iniciatives en les que més interessa treballar a les universitats és el marc que estableix el Programa d'Aprenentatge Permanent de la Comissió Europea, i estem convençuts que sorgiran altres possibilitats perquè les universitats en puguem aportar la nostra contribució.

En aquest context, per a les universitats de la Xarxa la participació de la Universitat de Sàsser representa una oportunitat per a treballar conjuntament en el marc comú europeu, per a que tots sortim enriquits de l'intercanvi. A partir de la base d'una llarga relació de col·laboració entre algunes de les nostres institucions, que ara podem reforçar, desitgem que per a la vostra Universitat la Xarxa Vives sigui un canal per a intensificar les relacions amb les altres 20 institucions membres. La nostra experiència ens diu que si treballem junts en projectes d'interès comú, podrem arribar més lluny.

Moltes gràcies a tots i a totes.

Marc Mayer i Olivé

Prof. Dr. Dr. h.c., Università di Barcellona

*La Sardegna e il mondo catalano**

Sarebbe presuntuoso da parte mia permettermi, di fronte ad un pubblico così qualificato, come quello oggi presente, di tracciare anche solo velocemente un panorama storico sino ai nostri giorni di quelle che sono state le relazioni tra la Sardegna e la Penisola Iberica, in particolare la Catalogna. Mi limiterò pertanto a delineare a rapidi tratti alcuni aspetti che sento particolarmente prossimi in virtù dei miei interessi e della mia sensibilità tralasciando la grande maggioranza di fatti che senza dubbio sono altrettanto, e forse anche più, significativi. Terminerò queste parole con alcune ipotesi di prospettiva del nostro comune futuro, nelle quali è sicuramente contenuto quanto tutti gli universitari di buone intenzioni desiderano e che solo una volontà tenace potrà porre in essere a breve termine.

L'Istituto su rapporti italo-iberici, che come tutti sappiamo è un importante centro del Consiglio Nazionale della Ricerche Scientifiche con sede in Cagliari, ha pubblicato una nutrita serie di monografie sulla presenza catalano-aragonese nell'Isola, estesa talvolta al resto del territorio dell'odierna l'Italia secondo quelle che sono le finalità di questa istituzione (oggi Istituto di Storia dell'Europa Mediterranea). Un centro del Consejo Superior de Investigaciones, l'Institutió Milà i Fontanals costituisce il pendant barcellonese e copre l'epoca medioevale e gli albori dell'età moderna. Ricordo in uno dei volumi dell'Istituto su rapporti italo-iberici, il cui prologo si deve all'indimenticabile professore Alberto Boscolo, con quanto interesse si possono leggere, ed io stesso lessi, i dati sulla spedizione del 1354-1355 di Pietro il Cerimonioso, la cui conseguenza fu la conquista di Alghero, che diverrà l'Alguer catalana, e che coinvolse anche i Doria e gli Arborea, o sempre nello stesso lavoro le pagine dedicate alla rivolta dei Doria a Sassari sul cui sfondo traspare la rivalità tra Genova e Barcellona. Il semplice dato storico, per quanto modesto possa apparire, risveglia immediatamente nel lettore informato una serie di ricordi e di reminiscenze sui grandi avvenimenti del nostro comune passato. Alberto Boscolo, come è ben noto, è uno dei fondatori della Facoltà di Magistero di Sassari, creatore di una grande scuola ed autore di importanti contributi sul tema delle relazioni tra la Sardegna e il mondo iberico e soprattutto con i territori catalani. Avendo fatto riferimento ai suoi lavori non possiamo non citare altri importanti studiosi quali Marco Tangheroni, Francesco Manconi, Angelo Castellaccio, Giuseppe Meloni e, a Cagliari, figure di rilievo come Francesco Cesare Casula o Luisella d'Arienzo, tutti seguiti da un cospicuo numero di ricercatori e professori di entrambe le università sarde.

L'Archivio di Aragona, l'antico Arxiu Reial, costituisce il centro di raccolta della documentazione che riflette il cammino percorso insieme e che, al di là delle tensioni e degli scontri che questo comune viaggio può aver generato, risulta oggi

* Ringrazio i professori Attilio Mastino e Giuseppe Meloni per i loro suggerimenti, e la professoressa Giulia Baratta per la traduzione.

l'imprescindibile base per il lavoro di un nutrito gruppo di storici che si dedicano, con metodologie diverse, alle varie fasi storiche e che imparano a conoscersi e a lavorare uniti o in parallelo su temi di interesse comune. Tra questi studi possiamo ricordare quello sull'importante processo contro gli Arborea, di cui l'ACA conserva i documenti come un tesoro, e che grazie a questa sinergia si conosce sempre meglio. Possiamo dire che ricercatori di entrambe le sponde del nostro Mediterraneo hanno passato fruttuose ore di lavoro tra i documenti dei Registres de Cancilleria, in particolare quelli che fanno riferimento alla Sardegna, e quelli del Reial Patrimoni, scandagliando con successo il nostro comune passato. A questo punto è bene ricordare che i titoli di *rex Sardiniae* e di *rex Aragonum* appaiono nella monetazione sarda a partire da Jaume II, Giacomo II, al quale nel 1297 fu concesso il titolo di *rex Sardiniae et Corsicae* che si manterrà con orgoglio nella denominazione ufficiale dei re aragonesi, come mostra, solo per citare un esempio, un documento del 1386 di Pere IV, Pietro IV, nel quale è detto *rex Aragonie, Valencie, Maiorice, Sardinie et Corsice comesque Barchinone Rossilionis et Ceritanie*. I titoli variano così come l'elenco dei regni, contadi e signorie, secondo il momento storico e talvolta secondo il gusto della cancelleria.

Dobbiamo ricordare in questa sede un'istituzione effimera i cui obbiettivi si dovrebbero continuare a perseguire: la Sezione di Studi Storici dell'Istituto Italiano di Cultura di Barcelona, diretto dal professore Olimpio Musso negli anni ottanta del secolo scorso, che coinvolse Alberto Boscolo e Francesco Giunta, vale a dire le due grandi isole, la Sardegna e la Sicilia, oltre a Geo Pistarino di Genova, e un notevole gruppo di altri studiosi sardi e siciliani, e che promosse un intercambio vitale tra entrambe le parti del Mediterraneo in linea con quello che riuscivano a conseguire, ed ancora conseguono, i Congressi di Storia della Corona di Aragona.

Seguire, da una prospettiva contemporanea e più obbiettiva, i possibili pericoli di una comune rotta per i mari in tempesta della storia, è una lezione continua che ci dimostra sino a che punto siamo simili e diversi allo stesso tempo e ci fa scoprire il valore profondo della tolleranza.

Rileggendo recentemente un'opera del poliedrico erudito Marcelino Menéndez y Pelayo, la *Bibliografía hispano-latina clásica*, pur occupandomi di un tema diametralmente opposto, la tradizione ovidiana nella Penisola Iberica, sono stato colpito da una delle sue contundenti affermazioni: "Incluyo aquí esta edición no sólo por ser catalán el impresor sino porque durante los siglos XVI y XVII Cerdeña llegó a identificarse con la Monarquía española predominando en aquella isla las lenguas castellana y catalana y escribiendo en la una o en la otra la mayor parte de los autores sardos". Questo commento è tratto dall'edizione dei dodici libri delle *Metamorfosi* di Ovidio, edita a Cagliari, Caller come appare nel volume, da Nicolás Canyelles nel 1585. Possiamo essere d'accordo o meno con l'erudito di Santander, allievo di Milá i Fontanals, ma risulta evidente, per quanti si occupano di storia o di cultura della Sardegna in epoca moderna, che la convivenza tra le lingue e la vitalità dell'isola è un fatto importante e di grande rilievo.

Ricordo il racconto in campidanese, *Bonas tardas Magestà*, del grande scrittore

Benvenuto Lobina nel quale il protagonista, corazziere al servizio del re, apprende da suo nonno uno spagnolo tradizionale ed ancestrale che utilizza con grande disinvoltura a corte.

Essendomene occupato, come sicuramente alcuni dei presenti, non posso non fare riferimento al caso dei *Sancti innumerabiles* di Cagliari, che ha dato origine ad una ricca bibliografia dal momento stesso in cui, nel XVII secolo, si è generata la tanto dibattuta questione che ha, come ragione ultima, quella di consolidare il primato di Cagliari nell'Isola di fronte al lontano e prestigioso antecedente turritano dell'arcidiocesi di Sassari. Non entreremo in materia analizzando gli argomenti su cui si fonda la discussione, poiché in questa sede per il nostro discorso è sufficiente segnalare che la prima pubblicazione, che sembra aver scatenato la polemica, è quella dell'arcivescovo di Sassari Gavino Manca di Cedrelles dedicata al rinvenimento dei corpi dei martiri Gavino, Proto e Ianuario nella basilica di San Gavino a Porto Torres, pubblicata a Madrid, nel 1615, in spagnolo. La questione si legava alla volontà di ridare prestigio al territorio del medioevale Giudicato turritano e alla seconda fondazione della Basilica di San Gavino, che risale forse all' XI secolo, anche attraverso una nuova pubblicazione del Condaghe di San Gavino risalente almeno al XIII secolo.

La risposta dell'arcivescovo di Cagliari Francisco d'Esquivel è stata, per così dire, fulminante: un programma di scavi ispirati alla figura di S. Lucifero che ha restituito corpi e testimonianze scritte, attribuiti, sulla base di una errata interpretazione delle abbreviazioni epigrafiche, ad una serie di martiri grazie ai quali si dava nuovo impulso alla supremazia di Cagliari. Buona parte della documentazione manoscritta conservata è in lingua spagnola, come nel caso del manoscritto di Juan Francisco Carmona o di quello di Giorgio Aleo. La prolissa *Relación* in materia, scritta dal vescovo Francisco d'Esquivel ed edita a Napoli, in spagnolo, nel 1617, raggiunge lo scopo prefisso e viene creduta, seguita ed assecondata dalle autorità sino al punto che uno dei servitori del viceré Alfons d'Erill, il catalano Salvador Riera, porterà con se, in occasione del suo viaggio di ritorno, alcune reliquie di questi presunti martiri che oggi sono venerate, con il nome di *Sants Màrtirs*, in Vilassar de Dalt, vicino a Barcellona, ed in altre località, come Oliana, Piera, St. Feliu de Llobregat e Figuerola del Camp. E' tutto un gioco di complicità nel particolare tessuto culturale che presenta la Sardegna di quel momento. Una cultura che ha affascinato molto i catalani tra cui il diplomatico ed erudito Eduard Toda i Guell, che ha redatto una bibliografia spagnola della Sardegna, o padre Miquel Batllori i Munné, che si è dedicato tra i tanti interessi che lo caratterizzavano, anche allo studio del collegio dei Gesuiti che è all'origine di questa Università.

Non affronteremo lo spinoso tema degli ordini militari né quello dei feudi che tanti problemi e sofferenze hanno causato alle popolazioni dell'Isola, sia sotto la dominazione catalano-aragonese che sotto quella della corona spagnola, e che oggi, nonostante tutto, sono già storia e costituiscono un fecondo campo di ricerca ed una chiave di lettura della trama sociale della Sardegna.

Se vogliamo tornare indietro nel tempo, similitudini e differenze tra la cultura

nuragica sarda e quella talaiotica baleare sono state sempre messe in rilievo sin dai primi studi scientifici dedicati a questi temi che hanno dato origine a fruttuosi scambi di conoscenze spesso tradotti in campagne archeologiche in entrambe le isole. E' doveroso ricordare in questo contesto l'importante figura del professor Giovanni Lilliu che è entrato a far parte dell'immaginario culturale delle Baleari. Lo stesso accade nel campo della cultura fenicio-punica delle Baleari le cui somiglianze con la arda sono state ben messe in rilievo. A ciò vanno aggiunti, più di recente, lavori comuni dedicati al periodo romano e un ambizioso programma sulle isole del Mediterraneo Occidentale dell'Università di Sassari. Le conoscenze in via di progressivo incremento da entrambe le parti, la baleare e la sarda, sul periodo bizantino, cui sino ad ora è stata dedicata meno attenzione, potrebbero ugualmente dare ottimi risultati in eventuali programmi congiunti, per i quali la grande esperienza dell'Ateneo sassarese risulterebbe fondamentale.

Prima di passare alla parte conclusiva di questo mio breve discorso mi soffermerò su un tema che i filologi formati all'Università di Barcellona sentono particolarmente vicino: la lingua sarda. Evidentemente ci si potrebbe aspettare da un professore dell'Università di Barcellona che in questa sede parli della continuità di vita della lingua catalana ad Alghero o della sua particolare varietà dialettale. La formazione di chi vi parla, un classicista, permette di affrontare la questione da altri punti di vista. Il vocalismo del sardo ha sempre costituito una parte essenziale delle introduzioni al latino volgare, che sono alla base della formazione filologica, in particolare quella romanza e quella classica, nei programmi di studio dell'Università di Barcellona. Ricordo come l'indimenticabile professore Joan Bastardas, ben al di là dei consueti manuali di Veikko Väänänen e di Dag Norberg, ci insegnava che il sardo è la lingua più vicina al latino, fatto di grande trascendenza per studenti che avevano come propria una lingua arcaica come il catalano. Max Leopold Wagner o Massimo Pittau sono diventati nomi familiari che hanno suscitato in alcuni studenti l'interesse per la lingua sarda come è successo a me. I condaghes, oggetto di studio di professori di questa Università, costituivano un interessante soggetto, e la dialettologia sarda appariva di una ricchezza tentatrice ben oltre il "sardo illustre" al quale ci si può avvicinare con maggiore facilità. Soddisfare questo interesse costituirebbe una buona occasione di collaborazione e aprirebbe, senza alcun dubbio, un vasto panorama di possibili ricerche.

Di passo in passo siamo arrivati ai nostri giorni. Un presente che per quanto riguarda questa Università, è caratterizzato dalla sua partecipazione con tutti i diritti, alla Xarxa Lluís Vives della Università di lingua catalana. La Casa de la Generalitat, oggi Espai Llull, con sede ad Alghero, serve attualmente come centro di riferimento per le relazioni tra la Catalogna e la Sardegna, con importanti accordi in diversi ambiti, come le promozioni congiunte con la provincia di Sassari oltre al tradizionale ed indispensabile appoggio alla cultura e alle istituzioni di Alghero. Attualmente si sta lavorando a un accordo tra la Sardegna e la Catalogna rivolto non solo alle relazioni culturali ma anche alla cooperazione in materia economica e turistica, che dovrebbe contemplare anche la collaborazione scientifica e universitaria.

In questo campo si stanno sviluppando alcune importanti iniziative comuni come il corso di laurea ed il master internazionale organizzato dalla Facoltà di Architettura di Alghero, in collaborazione con le Università di Girona, Barcellona, l'Iuav di Venezia e l'Università tecnica di Lisbona. Sarebbe di grande utilità, e mi sembra che ci sia la volontà di realizzarlo, dare vita in un futuro non lontano ad un consorzio universitario per approfondire, partendo da questo Ateneo, le relazioni culturali sardo-catalane dal passato al presente ed in seno al quale si possano sviluppare comuni progetti di ricerca innovativi e competitivi.

Sono già passati cinquanta anni da quando, il 24 agosto del 1960, attraccò al porto di Alghero la nave sulla quale viaggiavano, dando vita ad un movimento simbolico per rinforzare i legami comuni, più di un centinaio di intellettuali catalani. La sfida è ancora viva e dobbiamo affrontarla con ampiezza di vedute e considerando le culture sarda e catalana nella loro totalità.

L'esposizione realizzata da tre fotografi sardi, dal titolo *Catalanidade / Catalanitat*, tenutasi non molto tempo fa a Barcellona, ha mostrato con le immagini, ben al di là di quanto possono fare le sole parole, le affinità tra i nostri popoli e le similitudini dei paesaggi.

Permettetemi, per concludere, di fare ricorso alla mia lingua, il catalano, per citare un passaggio del geniale scrittore e giornalista Josep Pla nel quale racconta il suo viaggio tra Terranova e Sassari: "Quan vaig veure que el tren enfilava un paisatge de terres altes, muntanyós, poblat de suredes i de pins, l'aire ple d'olors de farigola, romaní i espigol, amb les flors grogues de la ginesta, el sòl cobert d'argelagues florides, solitari i desert, em semblà de trobar-me altra vegada a la meva terra materna. Encant de Sardenya!"

Andrea Cereatti

Ricercatore di Bioingegneria

Prolusione

Sensori indossabili e modelli biomeccanici applicati al movimento umano

Aristotele affermava, nelle sue riflessioni sulla “*Storia degli animali*”, che “solo l'uomo, fra tutte le creature viventi, cammina eretto perché la sua natura e il suo essere sono divini”. Isolata dal contesto dei significati che la filosofia aristotelica attribuisce al “principio divino” del movimento, questa affermazione sembrerebbe contraddire i numerosi esempi di specie animali che, come l'uomo, adottano la locomozione bipede. Alcune specie di uccelli incapaci volare, come gli struzzi, hanno infatti implementato un cammino bipede che permette loro di raggiungere una velocità di 70 chilometri orari. Analogamente, alcuni primati possono sollevarsi su due arti per brevi tratti durante la locomozione. Tuttavia, nell'affermazione di Aristotele risiede l'intuizione fondamentale dell'importanza specifica che l'acquisizione del cammino eretto ha assunto nell'evoluzione della specie umana.

Secondo le teorie evoluzionistiche recenti, l'*Homo sapiens* ebbe come suo progenitore l'*Homo erectus*, capace – come sottolinea il nome stesso – di camminare in stazione eretta, utilizzando i soli arti inferiori. In realtà, la capacità di camminare in stazione eretta risale ad almeno 3,7 milioni di anni fa, come dimostrano in maniera incontrovertibile le serie di impronte lasciate da una coppia di australopitechi, scoperte nel 1976 da Paul Abell a Laetoli, in Tanzania¹.

Tra i numerosi vantaggi, l'adozione del cammino bipede consente un aumento del campo visivo e soprattutto “libera” gli arti superiori, permettendo di trasportare e manipolare oggetti, e quindi di costruire manufatti. Senza addentrarci nell'ambito delle diverse teorie e ipotesi volte a spiegare perché gli ominidi a differenza dei primati abbiano adottato il cammino bipede e i cambiamenti anatomici e morfologici associati al perfezionamento di tale andatura, i vantaggi diretti e indiretti legati alla suddetta specializzazione evolutiva sono resi evidenti dalla sopravvivenza della specie umana.

Il cammino umano nella sua forma attuale è caratterizzato da movimenti armoniosi, regolari e ripetitivi, regolati da una ben predefinita sequenza di eventi. Per quanto riguarda il controllo motorio, studi recenti evidenziano il ruolo della corteccia celebrale nella gestione dei transitori (inizio, fine, variazioni di velocità e direzioni), mentre sembra essere a carico del midollo spinale il mantenimento della periodicità dei movimenti². I comandi motori registrati e generati dal sistema nervoso centrale sono quindi inviati al sistema nervoso periferico, responsabile dell'attivazione muscolare. I muscoli, contraendosi, generano delle forze e di conseguenza dei *momenti muscolari* responsabili del movimento relativo dei segmenti ossei collegati attraverso accoppiamenti mobili detti articolazioni. Il movimento coordinato dei segmenti corporei permette la generazione di opportune *forze di reazione piede-suolo*, che consentono la progressione del centro di massa del corpo umano, cioè di quel

punto sul quale possiamo pensare applicata la totalità della forza peso. L'intero processo è controllato, grazie alle informazioni fornite dagli organi sensoriali, attraverso un sistema di retroazione che permette in tempo reale di adattare il *pattern motorio*.

Una modalità conveniente per descrivere il singolo ciclo del passo è quella di identificare lo schema di contatto reciproco piedi-suolo³. Durante l'avanzamento del corpo, un arto funge da sostegno permettendo all'arto contro-laterale di avanzare sino al successivo appoggio: a questo punto entrambi i piedi sono a contatto con il terreno, il peso viene trasferito da un arto all'altro, in modo da permettere lo scarico e il successivo avanzamento dell'arto, che precedentemente fungeva da sostegno. Il ciclo del passo viene fatto convenzionalmente iniziare con l'istante di contatto del piede al suolo e termina con il successivo contatto del medesimo piede. Ogni ciclo è suddiviso in due fasi chiamate rispettivamente *appoggio* e *oscillazione*. La *fase di appoggio* inizia con il contatto iniziale del piede e termina con il distacco dello stesso, a questo punto inizia la *fase di oscillazione* durante la quale il piede si trova sollevato per l'avanzamento dell'arto stesso. La *fase d'appoggio* a sua volta può essere suddivisa in tre parti: una *fase iniziale di doppio appoggio* che costituisce l'inizio del ciclo del passo e rappresenta l'intervallo di tempo in cui entrambi i piedi si trovano a contatto con il suolo dopo il contatto iniziale; una fase di *appoggio singolo* che inizia quando il piede opposto si distacca per l'oscillazione; e una *fase terminale di doppio appoggio*, che inizia quando il piede dell'arto in oscillazione entra in contatto con il suolo e termina quando l'arto in appoggio si distacca per l'oscillazione. La suddivisione del cammino in cicli è fondamentale per la caratterizzazione dello stesso, in quanto permette di analizzare il gesto nella sua periodicità attraverso un numero limitato di parametri caratteristici.

L'obiettivo principale del cammino bipede è quello di trasportare il corpo, e di farlo in maniera economica. Analogamente a quanto avviene nei veicoli a motore, è possibile definire un costo energetico per valutare l'economia della progressione. A differenza però dei sistemi meccanici, nell'uomo l'energia metabolica è spesa sia per permettere ai muscoli di generare lavoro, positivo e negativo, sia per produrre forze, anche quando il lavoro non è prodotto (basti pensare alla fatica percepita quando si tiene un peso sollevato con il braccio flesso a 90°). Inoltre è importante ricordare che l'efficienza con la quale i muscoli generano lavoro positivo è pari a circa il 25%⁴. Nonostante la relativamente bassa efficienza energetica di nostri attuatori (i muscoli), il cammino in piano risulta essere, sorprendentemente, una modalità di progressione efficiente e a basso costo⁵ (150 W per un individuo di 66 kg che cammina a una velocità di 4.5 km/h). Osservazioni sperimentali⁶ hanno dimostrato che esiste una velocità ottimale in un intorno della quale il costo energetico è minimo e che questa velocità è molto simile a quella spontaneamente scelta. Inoltre non sembrano esistere differenze nel costo del cammino in individui compresi tra i 20 e i 70 anni, mentre il costo per unità di massa è più elevato nell'infanzia. Questi risultati presuppongono la possibilità di implementare – con un contributo muscolare ridotto – le strategie motorie che consentono di trasportare il centro di massa. A tale proposito, un ap-

proccio interessante per spiegare i meccanismi del cammino bipede è offerto dai *passive dynamic walkers*, cioè robot in grado di camminare su un piano leggermente inclinato senza controllo e senza attuatori⁷. La teoria sottostante allo sviluppo del *passive dynamic walker* permette di spiegare in maniera efficace perché il cammino può essere ottenuto con un contributo muscolare ridotto e quindi in maniera energeticamente conveniente⁸. Infatti, durante la fase di *appoggio singolo*, la gamba in appoggio rimane estesa e si comporta come un *pendolo inverso*⁹, supportando il centro di massa e trasportandolo lungo una traiettoria circolare, senza necessità di spendere energia e con una ridotta attivazione muscolare (quella che serve a tenere la gamba estesa). La fase di *appoggio singolo* termina con la collisione del piede della gamba in oscillazione con il terreno: durante questa fase viene dissipata energia che, nel *passive dynamic walker*, è fornita dal piano inclinato mentre, nel cammino umano in piano, è generata principalmente dai muscoli plantar-flessori alla caviglia dell'arto che si trova posteriormente. Durante questo transitorio – che permette il passaggio del carico da una gamba all'altra – risulta speso circa il 60-70% dell'intero costo metabolico necessario al cammino⁵. Un altro aspetto interessante, spiegato dal *passive dynamic walker*, è la brusca variazione della velocità del centro di massa, in seguito alla collisione del piede con il suolo, che permette al passo successivo di avvenire. In altri termini, la periodicità del cammino è garantita senza bisogno dell'intervento di un sistema di controllo esterno o di attuatori. Questa proprietà assicura al sistema una certa stabilità locale. Ciò significa che, in presenza di piccole perturbazioni, il cammino di un sistema passivo può essere comunque stabile¹⁰. Nell'uomo la capacità di generare un cammino stabile, anche in presenza di perturbazioni esterne di grande intensità, è garantita e ulteriormente rafforzata dalla presenza di un sofisticato sistema di controllo e di attuatori. Risulta comunque evidente che, in presenza di un cammino – anche se solo localmente – intrinsecamente stabile, parte delle risorse cognitive possono essere utilizzate per eseguire contemporaneamente altri compiti come è normalmente richiesto durante la vita quotidiana.

Il cammino normale, per avvenire in maniera efficiente e garantire la stabilità necessaria, richiede l'interazione del sistema muscolo-scheletrico, dei sistemi sensoriali e del sistema nervoso. Danni a carico dei precedenti sistemi alterano l'abilità nel cammino, portando a delle modificazioni funzionali che si possono manifestare da un punto di vista biomeccanico in: *deformità articolare* (che comporta un'insufficiente mobilità passiva delle articolazioni), *debolezza muscolare* e *controllo muscolare alterato*. In particolare, in pazienti con lesioni neurologiche centrali, si assiste spesso a una reazione eccessiva allo stiramento muscolare, detta *spasticità*, che si accompagna a un controllo selettivo disturbato, a schemi di attivazione muscolare non funzionali e a una propriocezione alterata. Ictus, sclerosi multipla e paralisi cerebrale infantile sono fra le cause che possono determinare un cammino spastico. Nei bambini affetti da diplegia spastica, si osserva spesso un cammino detto *crouch gait*³ caratterizzato da una flessione eccessiva a livello dell'anca e del ginocchio e da una probabile flessione plantare eccessiva al livello della caviglia, che può portare

all'*equinismo* (cioè al cammino in punta di piedi) o a un piede cadente. Osservando il cammino di un paziente affetto da paralisi celebrale si nota immediatamente come venga meno il comportamento a “pendolo inverso”, che caratterizza l'arto durante la fase di appoggio singolo e che – come precedentemente sottolineato – è associato a un basso costo energetico. Studi condotti su tale popolazione hanno riscontrato un eccessivo dispendio energetico che potrebbe dipendere dalla presenza di co-contrazione patologica tra muscoli agonisti e antagonisti.

Alterazioni del cammino sono comunemente riscontrate anche nella popolazione anziana. Con l'avanzare dell'età si osserva la tendenza ad una ridotta escursione articolare, che comporta l'esecuzione di passi più corti, mantenendo una base di appoggio più allargata. Queste modifiche sono legate a una complessiva perdita della forza muscolare e a un peggioramento delle capacità sensoriali e cognitive. Tali fattori rendono il cammino nell'anziano intrinsecamente più instabile aumentando il rischio di caduta¹¹.

Nel 2001, l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha approvato la *Classificazione Internazionale del Funzionamento, della Disabilità e Salute* (ICF). In questa nuova classificazione, non si fa più riferimento alla malattia bensì al funzionamento. L'ICF non intende porsi come strumento di descrizione “di ciò che si è perso”: mira, piuttosto, alla descrizione dettagliata delle funzioni, delle abilità e delle capacità che caratterizzano ciascun individuo. Viene inoltre affermato il principio secondo cui la valutazione del funzionamento umano non può prescindere dal contesto ambientale nel quale viene effettuata. In particolare, una delle componenti costitutive della ICF è “*Attività e Partecipazione*”, con riferimento sia all'esecuzione di un compito o di un'azione da parte di un individuo, sia al coinvolgimento in una situazione di vita. Il livello di *Attività e Partecipazione* è valutato in termini di *capacità* e *prestazione*. Il termine *capacità* definisce l'abilità di una persona a eseguire un determinato compito motorio o azione in un ambiente standardizzato, quale ad esempio un laboratorio dell'analisi del movimento. Il termine *prestazione* fa invece riferimento al livello di partecipazione della persona nel contesto ambientale in cui vive tutti i giorni: se una persona utilizza, ad esempio, una stampella, misurare la sua prestazione nel camminare significa descriverla tenendo conto di come svolge l'attività, considerando la facilitazione al funzionamento data dall'ausilio specifico.

All'interno del *framework* proposto dalla ICF, la Bioingegneria può contribuire in maniera sostanziale in termini di osservazioni, strumenti e soluzioni per il trattamento dei disturbi motori e, più in generale, delle problematiche connesse a una riduzione della mobilità. Come indicato nella declaratoria dei settori scientifico-disciplinari, la Bioingegneria nasce dall'integrazione organica delle metodologie e delle tecnologie proprie dell'ingegneria con le problematiche mediche e biologiche delle scienze della vita.

Nella trattazione successiva verranno presentate due distinte applicazioni delle metodologie adottate e sviluppate nel contesto della Bioingegneria, rispettivamente

nell'ambito della *capacità* e della *prestazione*; si metterà inoltre in luce come il dualismo – e al tempo stesso la complementarità – tra *capacità* e *prestazione* si riflette nell'adozione di distinti strumenti tecnologici e teorici.

Nella valutazione della *capacità*, l'obiettivo della ricerca ingegneristica è quello di ottenere, attraverso l'adozione di *modelli biomeccanici*, anche di notevole complessità, la descrizione più dettagliata possibile dei diversi sottosistemi che presiedono alla funzione locomotoria. Diversamente, nella valutazione della *prestazione*, la ricerca persegue un approccio “minimamente invasivo” con l'obiettivo di fornire una descrizione globale e sintetica del movimento della persona all'interno dell'ambiente fisico e sociale in cui vive.

Simulazioni dinamiche nell'ambito della capacità motoria

La strumentazione presente in un laboratorio di analisi del movimento permette la raccolta di una grande quantità di dati sperimentali. Il movimento dei segmenti corporei può essere registrato attraverso sistemi costituiti da telecamere ad alta velocità; utilizzando pedane di forza si possono misurare le forze scambiate dal soggetto con l'ambiente esterno e attraverso il posizionamento di elettrodi sui muscoli di interesse si può misurare l'intensità e la tempistica dell'attivazione muscolare. Queste informazioni, seppur utili e necessarie per la descrizione complessiva del movimento assoluto e relativo dei diversi segmenti corporei (*Cinematica*) e delle cause che lo determinano (*Dinamica*), possono non essere sufficienti per rispondere ad alcuni quesiti clinici rilevanti nel trattamento delle alterazioni motorie. Se ci si limita ad un approccio sostanzialmente sperimentale, infatti, non è possibile spiegare la funzione o disfunzione dei singoli muscoli, determinare il loro specifico contributo propulsivo durante la deambulazione e valutare i carichi e gli stress a cui sono sottoposti le diverse strutture che compongono le articolazioni. L'utilizzo di modelli biomeccanici incorporati in simulazioni dinamiche al computer permette di superare le suddette limitazioni, consente di “entrare dentro” il sistema muscolo-scheletrico e rivelare le relazioni di causa-effetto tra i pattern di eccitazione neuro-muscolare, la forza muscolare e il movimento corporeo.

Nell'ambito della modellazione biomeccanica, relativamente alle applicazioni legate alla *capacità* motoria e alla descrizione del cammino, rivestono grande interesse le cosiddette *forward dynamic muscolo-skeletal simulations*¹². Il termine *forward* indica che il movimento nella simulazione non è misurato bensì generato dall'attivazione e dalle forze dei singoli muscoli. In altre parole, attraverso l'adozione di complessi modelli muscolo-scheletrici e del controllo neuromuscolare, il contributo dei singoli muscoli è reso esplicito.

Lo sviluppo di *forward dynamic simulation* richiede la definizione e l'integrazione delle seguenti componenti: un modello del sistema muscolo-scheletrico che includa i parametri inerziali, un modello degli attuatori muscolari e un modello del controllo neuromuscolare¹³.

Il sistema muscolo-scheletrico è generalmente modellato da segmenti rigidi collegati attraverso delle articolazioni. Queste sono rappresentate da meccanismi che

riproducono la mobilità delle articolazioni biologiche corrispondenti. Ovviamente, la complessità del modello articolare dipende dagli obiettivi dell'analisi. Se si è interessati al solo movimento di flessione-estensione, l'articolazione del ginocchio può essere convenientemente descritta attraverso una cerniera cilindrica. Se l'obiettivo è determinare le traslazioni articolari o le tensioni a cui sono sottoposti i legamenti crociati, diventa allora necessario adottare modelli tri-dimensionali cinematicamente più complessi, che prevedano anche elementi non rigidi.

Per quanto riguarda i muscoli, essi sono generalmente modellati come elementi indipendenti, mono-dimensionali, che collegano – seguendo un percorso rettilineo o curvilineo – l'origine con l'inserzione ossea. Muscoli che si inseriscono sopra una regione ossea particolarmente estesa possono essere separati in più sottoelementi, come avviene ad esempio per il grande e medio gluteo¹³. È importante sottolineare come la corretta identificazione dei parametri descrittivi del sistema muscolo-scheletrico (misure antropometriche, posizioni dei centri articolari¹⁴, ecc.) è fondamentale nel determinare l'affidabilità dei risultati forniti dalla simulazione¹⁵. Ad esempio, un'erronea determinazione del centro articolare dell'anca, si riflette in un'errata stima dei momenti muscolari e comporta errori elevati nell'identificazione dell'istante di passaggio dell'azione dei gruppi muscolari flessori a quelli estensori dell'anca¹⁶.

Nell'implementazione degli attuatori muscolari bisogna prendere in considerazione sia gli aspetti legati alla dinamica dell'attivazione che alla dinamica della contrazione muscolo-tendinea. Per quanto riguarda l'attivazione, è necessario tener conto del fatto che il muscolo non può attivarsi o rilassarsi istantaneamente, perché esiste un ritardo tra l'istante in cui viene inviato lo stimolo e l'istante in cui è attivato il muscolo. La dinamica della contrazione muscolo-tendine è definita in accordo con il modello proposto da Hill, che consiste in tre elementi: un elemento contrattile, un elemento elastico in serie e un elemento elastico in parallelo¹⁷. La forza generata dall'elemento contrattile è governata dalla curve caratteristiche forza-lunghezza e forza-velocità dei muscoli scheletrici.

La determinazione del controllo neuromuscolare, e cioè dei pattern di attivazioni muscolari che possano generare il movimento coordinato desiderato, rappresenta uno degli aspetti più critici nella *forward dynamic simulation*. A tale scopo si possono seguire due metodi concettualmente differenti¹⁸. Il primo metodo consiste nel trovare il "controllo" che meglio replica i dati misurati sperimentalmente in laboratorio. I pattern di attivazione muscolare vengono ricavati attraverso un processo iterativo che minimizza le differenze tra i valori delle variabili cinematiche e dinamiche prodotte dalla simulazione e quelle misurate sperimentalmente. Il secondo metodo invece determina il controllo muscolare in base al raggiungimento di un determinato criterio. In questo caso, la scelta dell'obiettivo della simulazione deve essere effettuata a priori. Nella simulazione di un cammino, ad esempio, il criterio potrebbe essere la minimizzazione del costo energetico o la minimizzazione delle variazioni di accelerazione. Questo secondo metodo appare molto interessante in quanto permette di testare diverse ipotesi di controllo motorio per cercare evidenza sulla strategia adottata da un paziente in presenza di una specifica patologia neuro-muscolare.

Indipendentemente dal tipo di metodo scelto per la determinazione del controllo, rimane da risolvere un problema di ottimizzazione, che partendo da una stima iniziale dei parametri di controllo, varia i suddetti parametri fino a quando la funzione costo non è stata minimizzata. Data l'elevata non linearità del problema, il costo computazionale richiesto per risolvere le simulazioni dinamiche può essere anche molto elevato.

Le simulazioni al computer basate sull'utilizzo di modelli muscolo-scheletrici possono essere utilizzate per approfondire la nostra comprensione del cammino fisiologico e patologico, migliorare la diagnosi, indirizzare verso il trattamento più adeguato, sia questo chirurgico o riabilitativo, e aiutare nella valutazione dell'efficacia di un intervento.

Ad esempio, a partire dall'osservazione che il costo energetico associato al cammino presente un valore di minimo vicino alla velocità di progressione spontanea, Anderson e Pandy¹⁹ hanno verificato che imponendo nella simulazione un criterio per la scelta del controllo motorio basato sulla minimizzazione del costo metabolico muscolare, si ottengono simulazioni altamente realistiche del cammino normale. Yamaguchi e Zajac²⁰, studiando i requisiti minimi necessari per produrre un cammino stabile in piano, hanno mostrato che bastano sette gruppi muscolari per arto e un livello minimo di forza dei plantar-flessori della caviglia.

In un lavoro condotto su bambini affetti da paralisi cerebrale, Arnold e colleghi²¹ hanno analizzato il contributo muscolare per supportare il peso corporeo nel *crouch gait*. I risultati forniti dalla simulazione hanno evidenziato che nei bambini affetti da paralisi cerebrale, i plantar-flessori della caviglia giocano un ruolo molto più importante per il supporto del peso rispetto a quanto osservabile nei soggetti sani. Per questo motivo, l'operazione chirurgica di allungamento dei muscoli plantar-flessori della caviglia, frequentemente proposta per il trattamento del *crouch gait*, in questa specifica tipologia di pazienti può essere inefficace e può addirittura compromettere la capacità di camminare.

In un altro studio, Delp e colleghi²² hanno utilizzato una simulazione dinamica del cammino di un bambino di dodici anni affetto da paralisi cerebrale infantile, per simulare gli effetti sulla biomeccanica articolare associati a due possibili interventi, uno basato sull'iniezione intra-muscolare di tossina botulinica e uno chirurgico di trasferimento del punto di inserzione del retto femorale. I risultati ottenuti indicavano un migliore recupero della funzione articolare al ginocchio in seguito alla simulazione del trasferimento muscolare. Nelle analisi del cammino effettuate sul paziente successivamente al trattamento chirurgico sono stati riscontrati miglioramenti molto simili a quelli predetti in simulazione.

Sensori indossabili per la valutazione della prestazione motoria

La società contemporanea è sempre più caratterizzata da uno stile di vita sedentario e dal fenomeno del progressivo invecchiamento demografico. Una tendenza quest'ultima dovuta da una parte alla diminuzione delle nascite, dall'altra alla maggiore longevità associata al progresso scientifico, sociale ed economico. Un grande

risultato per la società, che deve però necessariamente essere accompagnato da un profondo cambiamento dei comportamenti (*active ageing*).

La scarsa mobilità è stata dimostrata essere causa di un aumentato rischio di morte e di malattia²³, tanto che l'Organizzazione Mondiale della Sanità indica la sedentarietà tra le prime dieci cause di mortalità e riduzione della capacità funzionale nel mondo. Inoltre, con l'invecchiamento si assiste a una ridotta abilità di generare forza e potenza muscolare e di conseguenza a una minore mobilità²⁴. È dimostrato che un adeguato livello di attività fisica è cruciale per sostenere e potenziare lo stato di salute²⁵ e che quindi risulta strategico incoraggiare la pianificazione di trattamenti individuali basati su brevi periodi di attività fisica moderata, distribuiti nell'arco della giornata, come ad esempio il cammino.

Il riconoscimento dell'importanza dell'attività fisica per la salute stimola il bisogno di sviluppare metodi affidabili per la sua quantificazione e strumenti in grado di valutare l'efficacia di trattamenti di allenamento per migliorare il livello di mobilità dell'individuo.

Per caratterizzare la qualità e quantità di attività fisica svolta abitualmente da una persona è innanzitutto richiesto che la misura avvenga per un periodo di tempo prolungato, in modo da raccogliere osservazioni che descrivano lo "stile di vita tipico". Ad esempio, se ci si limita a osservare l'attività di una persona anziana in una giornata di pioggia, il livello di mobilità misurato è probabilmente inferiore a quello reale. Il secondo requisito è che la tecnologia per la misura non impedisca i movimenti e non interferisca con le attività comuni, quali vestirsi, lavarsi, sdraiarsi, ecc. Inoltre il funzionamento del dispositivo per la misura non deve richiedere né la partecipazione attiva da parte del soggetto né competenze tecniche per il suo utilizzo.

Fino a pochi anni fa, il limite principale nello sviluppo di metodi per la valutazione della prestazione era di carattere tecnologico. I dispositivi per la raccolta dei dati di movimento erano troppo ingombranti, presentavano cavi di collegamento, consumavano troppa energia, le memorie per l'immagazzinamento dei dati erano troppo piccole, la durata delle batterie era troppo bassa e infine i costi troppo elevati.

Un grande passo avanti è stato fatto recentemente con la diffusione su larga scala della tecnologia MEMS (*Micro Electro-Mechanical Systems*): un insieme di dispositivi di varia natura (meccanici, elettrici ed elettronici), integrati in forma altamente miniaturizzata su uno stesso substrato di silicio. Si tratta di sistemi "intelligenti" che integrano in uno spazio ridottissimo (micrometri) la tecnologia dei sensori e degli attuatori e le diverse funzioni di gestione dei processi. L'utilizzo di tale tecnologia, unitamente alle memorie con alta capacità e alle batterie sempre più piccole, ha permesso la realizzazione di dispositivi di misura in grado di durare fino a un mese, di dimensioni ridotte (1-3 cm) e quindi che, se opportunamente posizionati, possono quasi essere "dimenticati" dalla persona che li indossa.

Di particolare interesse per le applicazioni che riguardano la valutazione del movimento umano, sono i *sensori inerziali*. Il concetto d'inerzia, formalizzato per la prima volta da Newton, si riferisce in generale alla proprietà dei corpi di opporsi alle variazioni dello stato di moto e cioè di mutare la propria velocità lineare e rotazio-

nale. I sensori inerziali si dividono in accelerometri, che misurano le accelerazioni lineari lungo un asse sensibile e giroscopi che invece sono in grado di misurare le velocità di rotazione intorno ad un asse sensibile.

I *sensori inerziali* permettono di registrare l'andamento nel tempo dei segnali di accelerazione e di velocità angolare del segmento corporeo su cui sono posizionati. Per capire “cosa fa il soggetto” e “come lo fa”, è necessario prima di tutto riconoscere il tipo di attività fisica (camminare, essere seduto, alzarsi da una sedia, correre, ecc.) e successivamente estrarre parametri descrittivi del gesto. Ovviamente entrambe queste operazioni devono essere eseguite in maniera veloce, automatica e su grandi quantità dei dati.

Il trattamento automatico di grandi quantità di dati prende il nome, come noto, di *informatica*. Tale termine si riferisce principalmente alle tecniche che consentono ad un elaboratore di effettuare operazioni di calcolo in modo veloce, sotto il controllo di programmi appositamente sviluppati dall'uomo. In questa prospettiva, ovviamente, le macchine da calcolo sono e restano macchine prive di “intelligenza”, essendo tale intelligenza totalmente inglobata nell'algoritmo e quindi nel programma richiamato. Quando però un programma ha lo specifico compito di catturare conoscenza, ovvero di simulare o replicare processi logici o cognitivi tipici dell'uomo, si parla di *intelligenza artificiale*²⁶, una branca dell'informatica che ha suscitato molto interesse fin dalla sua nascita, stimolando l'immaginario collettivo e segnando vaste aree del sapere e della cultura letteraria e cinematografica.

Un'area importante dell'*intelligenza artificiale* è rappresentata dall'apprendimento automatico (*Machine learning*). La categorizzazione dei segnali²⁷ (*pattern recognition*) è un procedimento tipico dell'apprendimento automatico che consente di individuare schemi ricorrenti che caratterizzano specifici insiemi di riferimento. La classificazione delle diverse attività fisiche a partire da osservazioni di dati grezzi è un tipico problema di *pattern recognition*.

E' necessario premettere che gli algoritmi di *pattern recognition* non lavorano direttamente sui dati grezzi (nel caso specifico, accelerazioni e velocità angolari). Tipicamente i segnali grezzi acquisiti dal sensore vengono prima processati, in modo da trasformare le informazioni raccolte in uno spazio più consono per la successiva elaborazione (*feature extraction*). La scelta di un set di *features* caratterizzate da un elevato contenuto informativo è un passo fondamentale nel processo di classificazione e dipende dallo specifico problema analizzato. Nell'ambito della classificazione delle attività fisiche mediante sensori inerziali, le *features*, tipicamente estratte all'interno di una finestra di osservazione, sono il valor medio del segnale, la deviazione standard, il contenuto energetico e la correlazione tra segnali.

Formalmente, considerato un generico segnale vettoriale X (contenente le *features*), lo scopo della categorizzazione è definire la categoria vettoriale Y (ad esempio “cammino”) alla quale X appartiene. Ciò avviene solitamente per mezzo di una fase di addestramento, ovvero considerando un limitato numero di segnali X (*training set*) che possano adeguatamente rappresentare la popolazione di riferimento. Se la

fase di addestramento può beneficiare di una preventiva conoscenza dei *target vector* Y si parla comunemente di *supervised learning*; tale situazione prende il nome di pura *classificazione* nel caso in cui le categorie esistano in numero discreto oppure di *regressione* nel caso in cui esse coprano in modo continuo lo spazio del *target vector*.

Se, al contrario, i *target vector* non sono noti, si avviano processi di *clustering*, con l'automatica aggregazione in gruppi sufficientemente differenziati e adeguatamente rappresentativi, e ad una *regressione non supervisionata*, nel caso continuo. Si parla infine di *reinforcement learning* quando, pur non avendo preventiva conoscenza dei *target vector* Y , il sistema può beneficiare di meccanismi premiali legati alla corretta individuazione degli stessi.

La maggior parte delle tecniche utilizzate per la categorizzazione dei segnali è di natura statistica²⁸. Nei casi più fortunati, tali tecniche possono ipotizzare una completa conoscenza della struttura probabilistica delle categorie interessate e quindi utilizzare classificatori *bayesiani ottimi*. La situazione più comune, tuttavia, riguarda casi in cui la struttura probabilistica è nota solo per la sua forma (si parla allora di *stima parametrica*) oppure completamente ignota (*stima non parametrica*).

Un'analisi dettagliata delle varie tecniche statistiche adottate nella caratterizzazione dei segnali esula dagli scopi di questa trattazione. È nondimeno opportuno ricordare che per la pura *classificazione* sono stati adottati tecniche relativamente semplici (*alberi di decisione*, *classificatori bayesiani* e *reti neurali*) come pure approcci matematicamente più complessi quali *support vector machines* (SVM) e *nearest neighbor algorithms* (k-NN). Anche per il *clustering* sono stati utilizzati approcci probabilistici (*mixture models*) ma l'approccio più noto è una tecnica iterativa che risale agli anni '50 nota come *k-means*.

Le tecniche applicate al problema della regressione sono principalmente di natura lineare e hanno quindi visto frequentemente un coerente utilizzo delle *reti neurali*; per la *regressione non supervisionata*, va certamente citata la *principal component analysis* (PCA), una tecnica che consente di eliminare agevolmente il livello di correlazione tra segnali. Per questa ragione la PCA è spesso utilizzata anche nella fase di *feature extraction*.

In un recente studio, Mannini e Sabatini²⁹ hanno confrontato le prestazioni di diversi classificatori a partire dai dati inerziali raccolti da cinque sensori posizionati su varie parti del corpo di un soggetto sano, trovando un'accuratezza, nella classificazione delle attività fisiche considerate, superiore al 90% per tutti i metodi. Esiste evidenza in letteratura³⁰ che prestazioni più basse ma comunque accettabili possono ottenersi anche utilizzando un singolo sensore su soggetti sani. Ulteriore lavoro di ricerca è auspicabile e richiesto per sviluppare sistemi di classificazione che utilizzino un numero minimo di sensori (idealmente uno), permettano di estendere i tipi di attività classificate analizzando le fasi di transizioni, effettuare validazioni su diverse popolazioni patologiche.

Una volta risolto il problema della classificazione delle attività fisiche, è possibile, utilizzando le medesime informazioni registrate dagli accelerometri e i giroscopi,

andare a caratterizzare ulteriormente il gesto motorio. Tale opportunità è di grande interesse in particolare per quanto riguarda il cammino data la sua centralità nella vita di tutti i giorni. La stima di parametri quali la lunghezza, la variabilità e la simmetria del passo sono di fondamentale importanza per la valutazione del grado di alterazione della locomozione e la predizione del rischio di caduta. In un recente lavoro, Kose e colleghi³¹ hanno mostrato che utilizzando un singolo sensore inerziale posizionato sul bacino è possibile, attraverso algoritmi di *sensor fusion* per la determinazione dell'orientamento e una procedura ottima per l'integrazione dei segnali accelerometrici, stimare i più comuni parametri spazio-temporali e la lunghezza del semipasso destro e sinistro con errori inferiori al 3 %.

Nella presente trattazione sono stati descritti due diversi approcci teorici e tecnologici volti alla comprensione e alla caratterizzazione del movimento umano con specifica enfasi al cammino in termini di *capacità* e *prestazione*. L'elemento comune che caratterizza i due approcci, e che guida la loro naturale evoluzione e proficua integrazione, è la ricerca di descrizioni personalizzate. Se l'obiettivo è caratterizzare l'abilità motoria di uno specifico individuo, è infatti necessario aumentare sia la risoluzione spaziale dell'osservazione in modo da evidenziare differenze morfologiche, strutturali e funzionali, sia il periodo di osservazione (in modo da identificare eventi episodici ma rilevanti, e caratterizzare le personali esigenze funzionali). Il fine ultimo dell'analisi del movimento nell'ambito della salute è quello di promuovere un approccio olistico, in cui sia possibile definire interventi personalizzati, che tengano conto degli aspetti funzionali all'interno delle esigenze individuali, contribuendo all'efficacia nel trattamento delle alterazioni a carico del sistema motorio.

Bibliografia

- [1] Leakey M.D., Hay R.L., 1979. *Pliocene footprints in the Laetoli Beds at Laetoli northern Tanzania*. Nature 278, 317–323.
- [2] Pinter M.M., Dimitrijevic M.R., 1999. *Gait after spinal cord injury and the central pattern generator for locomotion*. Spinal Cord 37, 531–537.
- [3] Perry J., 1992. *Gait analysis: normal and pathological function*. Thorofare, New Jersey: SLACK Incorporated. ISBN 978-1-55642-192-1.
- [4] Hill A.V., 1938. *The heat of shortening and the dynamic constants of muscle*. Proceedings of the Royal Society of London Series B – Biological Science 126, 136–195.
- [5] Donelan J.M., Kram R., Kuo A.D., 2002a. *Mechanical work for step-to-step transitions is a major determinant of the metabolic cost of human walking*. Journal of Experimental Biology 205, 3717–3727.
- [6] Margaria R., 1938. *Sulla fisiologia e specialmente sul consumo energetico della marcia e della corsa a varia velocità ed inclinazione del terreno*. Atti Accademia Nazionale dei Lincei. Memorie 7, 299–368.
- [7] McGeer T., 1990a. *Passive dynamic walking*. International Journal of Robotics Research 9, 62–82.
- [8] Kuo A.D., 2007. *The six determinants of gait and the inverted pendulum analogy: A dynamic walking perspective*. Human Movement Sciences 26, 617–56.
- [9] Cavagna G.A., Margaria R., 1966. *Mechanics of walking*. Journal of Applied Physiology 21, 271–278.
- [10] McGeer T., 1993. *Dynamics and control of bipedal locomotion*. Journal of Theoretical Biology 163, 277–314.
- [11] Hamacher D., Singh N.B., Van Dieën J.H., Heller M.O., Taylor W.R., 2011. *Kinematic measures for assessing gait stability in elderly individuals: a systematic review*. Journal of the Royal Society Interface 8, 1682–1698.
- [12] Delp S.L., Loan J.P., Hoy M.G., Zajac F.E., Topp E.L., Rosen J.M., 1990. *An interactive graphics-based model of the lower extremity to study orthopaedic surgical procedures*. IEEE Transactions of Biomedical Engineering 37, 757–767.
- [13] Pandy M.G., 2001. *Computer modeling and simulation of human movement*. Annual Review of Biomedical Engineering 3, 245–273.
- [14] Cereatti A., Donati M., Camomilla V., Margheritini F., Cappozzo A., 2009. *Hip joint centre location: an ex vivo study*. Journal of Biomechanics 42, 818–823.
- [15] Cappozzo A., Berme N., 1990. *Biomechanics of human movement: applications in rehabilitation, sports and ergonomics*. Worthington, OH, Bertec Corp. 179–185.
- [16] Stagni R., Leardini A., Cappozzo A., Benedetti M.G., Cappello A., 2000. *Effects of hip joint centre mislocation on gait analysis results*. Journal of Biomechanics 33, 1479–1487.
- [17] Winters J.M., 1990. *Hill-based muscle models: a systems engineering perspective*. In Winter J. M., Woo S.L.-Y. Multiple muscle systems: Biomechanics movement organization. New York, Springer-Verlag. 69–93.
- [18] Neptune R.R., 2000. *Computer modeling and simulation of human movement. Applications in sport and rehabilitation*. Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America 11, 417–434.

- [19] Anderson F.C., Pandy M.G., 2003. *Individual muscle contributions to support in normal walking*. Gait Posture 17, 159-169.
- [20] Yamaguchi G.T., Zajac F.E., 1990. *Restoring unassisted natural gait to paraplegics via functional neuromuscular stimulation: a computer simulation study*. IEEE Transactions Biomedical Engineering 37, 886-902.
- [21] Arnold A.S., Anderson F.C., Pandy M.G., Delp S.L., 2005. *Muscular contributions to hip and knee extension during the single limb stance phase of normal gait: a framework for investigating the causes of crouch gait*. Journal of Biomechanics 38, 2181-2189.
- [22] Delp S.L., Anderson F.C., Arnold A.S., Loan P., Habib A., John C.T., Guendelman E., Thelen D.G., 2007. *OpenSim: Opensource software to create and analyze dynamic simulations of movement*. IEEE Transactions on Biomedical Engineering 54, 1940-1950.
- [23] Farrell S.W., Kampert J.B., Kohl H.W., Barlow C.E., Macera C.A., Paffenbarger R.S., Gibbons L.W., Blair S.N., 1998. *Influences of cardiorespiratory fitness levels and other predictors on cardiovascular disease mortality in men*. Medical and Science in Sports Exercise 30, 899-905.
- [24] Macaluso A., De Vito G., 2004. *Muscle strength, power and adaptations to resistance training in older people*. European Journal of Applied Physiology 91, 450-472.
- [25] Rowe J.W., Kahan R.L., 1997. *Successful aging*. Gerontologist 37, 433-440.
- [26] McCarthy J., Minsky M., Rochester N., Shannon C., 1955. *Proposal for Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*. Technical report, Dartmouth College.
- [27] Duda R.O., Hart P.E., Stork D.G., 2001. *Pattern classification*. Wiley, New York.
- [28] Jain A.K., Duin, R.P.W., Mao J., 2000. *Statistical pattern recognition: a review*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 22, 4-37.
- [29] Mannini A., Sabatini A.M., 2010. *Machine learning methods for classifying human physical activity from on-body accelerometers*. Sensors 10, 1154-1175.
- [30] Zhu C., Sheng W., 2010. *Recognizing human daily activity using a single inertial sensor*. Proceedings of the 8th World Congress on Intelligent Control and Automation, July 6-9 2010, Jinan, China.
- [31] Köse A., Cereatti A., Della Croce U., 2012. *Bilateral step length estimation using a single inertial measurement unit attached to the pelvis*. Journal of Neuroengineering and Rehabilitation 9:9.

Finito di stampare
nel mese di novembre 2012

presso la tipografia

Nuove Grafiche Puddu

Via del Progresso, 6 - 09040 Ortacesus CA

Tel. 070 9819015