

**ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITÁ DI BOLOGNA
SEDE DI CESENA
SECONDA FACOLTÁ DI INGEGNERIA CON SEDE A CESENA
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA
BIOMEDICA**

**STUDIO DI UN MODULO SOFTWARE PER L'ACQUISIZIONE
SIMULTANEA DI SEGNALI E IMMAGINI IN AMBITO
NEUROFISIOLOGICO**

Tesi in

Sistemi Neurali LM

Relatore
Prof. Mauro Ursino

Presentata da
Simona Anzivino

Correlatore
Sebastiano Zannoli

Sessione II

Anno Accademico 2011/2012

INDICE

INTRODUZIONE	1
CAPITOLO 1-TEST DI VALUTAZIONE DEL CONTROLLO VEGETATIVO DEI RIFLESSI CARDIOVASCOLARI	3
1.1. SISTEMA NEUROVEGETATIVO	3
1.2. DISTURBI DEL SISTEMA NEUROVEGETATIVO	7
1.3. MANOVRE	9
CAPITOLO 2-POLIGRAFIA	15
2.1. POLIGRAFIA IN NEUROFISIOLOGIA	15
2.2. UN PO' DI STORIA	16
2.3. ESIGENZE DI UN LABORATORIO E STATO DELL'ARTE	17
CAPITOLO 3-IL SISTEMA LIGHT	21
3.1. DESCRIZIONE DEL DISPOSITIVO	21
3.1.1. COMPONENTI	22
3.1.2. CARATTERISTICHE TECNICHE	25
3.1.3. ANALISI IN FREQUENZA E FUNZIONI SOFTWARE AVANZATE	25
3.2. PROCEDURA DI ACQUISIZIONE DEI SEGNALI	26
3.3. VANTAGGI DEL SISTEMA LIGHT	27
3.4. UTILIZZO DEL SISTEMA LIGHT NEI LABORATORI DI ESPLORAZIONE FUNZIONALE DEL SISTEMA NERVOSO VEGETATIVO	28
3.5. LIMITI DEL SISTEMA LIGHT IN FUNZIONE DELLE ESIGENZE	38
CAPITOLO 4-RIPROGETTAZIONE DEL SISTEMA LIGHT	39
4.1. ANALISI FUNZIONALE	41
4.2. ANALISI TECNICA	45
4.2.1. CARATTERISTICHE TECNICHE HARDWARE	45
4.2.2. CARATTERISTICHE TECNICHE DEL SOFTWARE	46
4.3. REALIZZAZIONE PROTOTIPO	54
4.3.1. ALGORITMI DI IMPLEMENTAZIONE	54
4.4. VERIFICA E VALIDAZIONE	63

CONCLUSIONI E ASPETTATIVE FUTURE	65
BIBLIOGRAFIA	67
RINGRAZIAMENTI	71

INTRODUZIONE

Nei Laboratori Neurovegetativi, grazie all'utilizzo della video-poligrafia per monitorare, eseguire e quantificare i test di valutazione del controllo vegetativo dei riflessi cardiovascolari, è possibile diagnosticare anomalie nel funzionamento del sistema neurovegetativo come sincope e ipotensione ortostatica.

Oggetto di questo lavoro di tesi è stato lo studio di un poligrafo neurovascolare digitale, realizzato dalla Spark srl, e la sua riprogettazione resa possibile grazie alla collaborazione con la componente clinica del Laboratorio Neurovegetativo del Dipartimento di Scienze Biomediche e Neuromotorie dell'Università di Bologna e con l'ufficio tecnico della società.

Questo sistema poligrafico, chiamato Sistema Light, è uno strumento creato per gestire con facilità l'acquisizione di segnali neurofisiologici e cardiovascolari e per automatizzarne l'analisi.

Ai fini di una corretta diagnosi, oltre ai segnali, è fondamentale disporre di una traccia audio-video del paziente sottoposto al test. Durante l'esecuzione di un test, eventi patologici sono spesso accompagnati da movimenti del corpo ed emissione di suoni da parte del paziente. Diventa quindi fondamentale poter associare l'immagine del paziente in quel determinato istante ad un punto del tracciato in cui si registra un cambiamento significativo di una determinata variabile.

Sempre ai fini diagnostici, è fondamentale avere la possibilità di riesaminare i segnali e la traccia audio-video, per studiare la sintomatologia, ovvero di cercare una correlazione tra sintomi e tracciato, guardando il video.

E' stato quindi necessario riprogettare e poi integrare il sistema Light per potere affiancare all'acquisizione dei segnali neurofisiologici quella di un video, rendendo in tal modo il sistema adeguato alle esigenze del Laboratorio Neurovegetativo del Dipartimento di Scienze Biomediche e Neuromotorie dell'Università di Bologna.

La riprogettazione del sistema è stata effettuata seguendo vari step.

In primo luogo, è stato necessario studiare lo stato dell'arte del sistema Light. In secondo luogo si è proceduto con la realizzazione di un'analisi funzionale,

effettuata grazie alla collaborazione con il Laboratorio Neurovegetativo, per individuare le problematiche delle strumentazioni in uso e i limiti del sistema Light in relazione alle esigenze mediche, e con la realizzazione di un'analisi tecnica per descrivere le specifiche di progetto e le modalità di realizzazione delle funzioni aggiuntive.

Le specifiche di progetto descritte nell'analisi tecnica sono state successivamente utilizzate dall'ufficio tecnico della società per l'implementazione del codice e la realizzazione del prototipo.

La collaborazione con la componente tecnica in questa fase ha consentito di individuare e analizzare gli algoritmi ottimali per la realizzazione delle funzioni richieste.

CAPITOLO 1

TEST DI VALUTAZIONE DEL CONTROLLO VEGETATIVO DEI RIFLESSI CARDIOVASCOLARI

1.1. SISTEMA NEUROVEGETATIVO

Il sistema nervoso consta del sistema nervoso centrale, a sua volta formato da encefalo e midollo spinale, e dal sistema nervoso periferico, costituito dal sistema nervoso autonomo, conosciuto anche come sistema nervoso vegetativo o neurovegetativo, e dal sistema nervoso somatico.

Il sistema nervoso periferico (SNP) capta i diversi stimoli interni ed esterni provenienti dalla periferia e li trasmette al sistema nervoso centrale (componente afferente del SNP). Qui i segnali vengono integrati e viene elaborata una risposta, la quale verrà condotta nuovamente alla periferia.

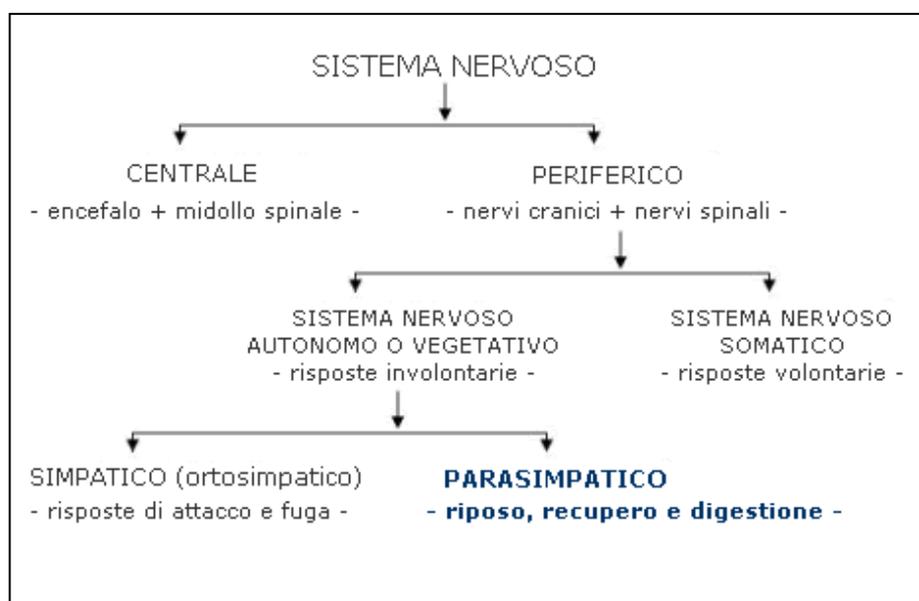


Fig. 1.1.

Il sistema nervoso autonomo (SNA), è quell'insieme di cellule e di fibre che innervano gli organi interni e le ghiandole, controllando le cosiddette funzioni vegetative, ovvero quelle funzioni che generalmente sono al di fuori del

controllo volontario. Per tale motivo viene anche definito "*sistema autonomo involontario*".

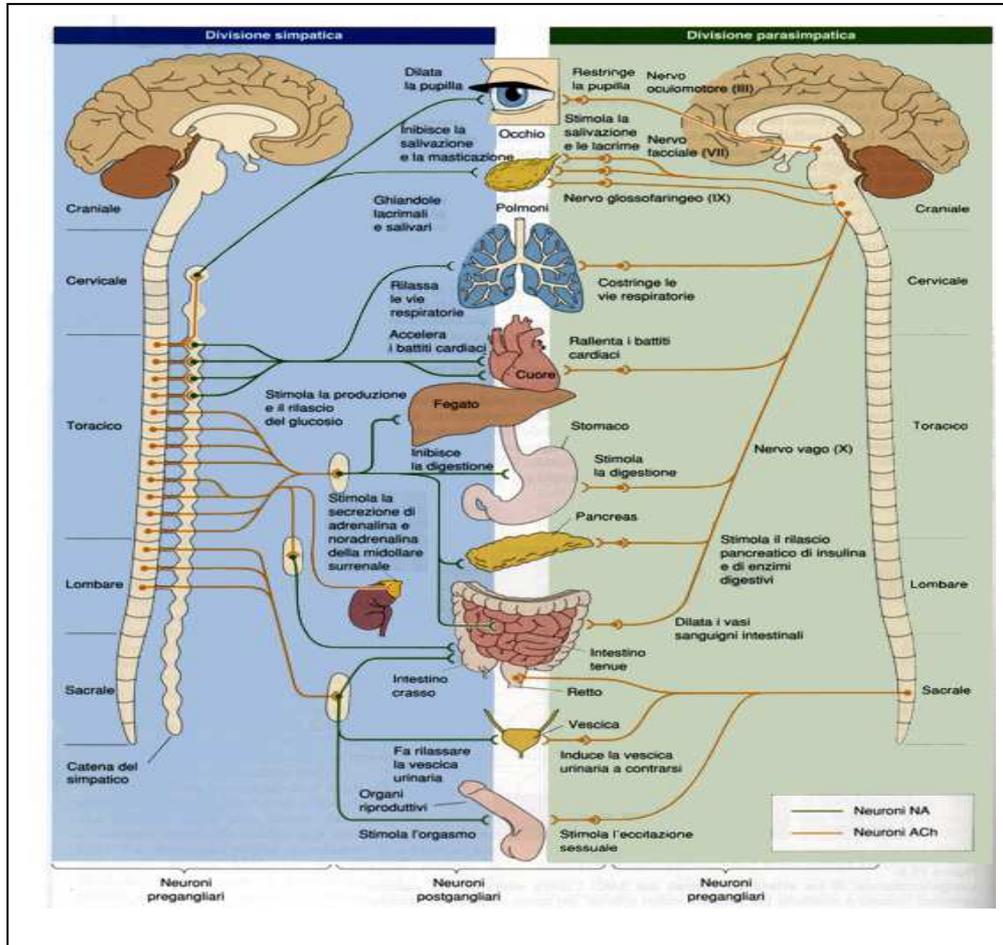


Fig. 1.2.

Il sistema nervoso autonomo è costituito da porzioni anatomicamente e funzionalmente distinte ma sinergiche:

- **sistema nervoso parasimpatico**
- **sistema nervoso simpatico o ortosimpatico**
- **sistema nervoso enterico**, fibre nervose che innervano i visceri.

I sistemi parasimpatico e simpatico regolano in senso opposto lo stesso organo. Vengono infatti definiti “contrapposti” e controllano l'intera muscolatura liscia (la muscolatura bronchiale, gastro-intestinale, vasale, del tratto genito-urinario), le secrezioni ghiandolari e la funzionalità cardiaca.

La trasmissione dell'impulso dal sistema nervoso centrale agli organi periferici avviene attraverso i neuroni efferenti: l'impulso, mediante il neurone efferente pre-gangliare, giunge al ganglio (agglomerato neuronale) para od ortosimpatico, dal quale si diparte l'assone post-gangliare che conduce il segnale fino ai recettori dell'organo periferico.

Il sistema parasimpatico viene detto anche settore cranio-sacrale, perché le sue fibre pre-gangliari partono dai nervi cranici e giungono alla zona sacrale del midollo spinale; il sistema ortosimpatico è invece detto settore toraco-lombare, perché le sue fibre pre-gangliari partono dal primo segmento toracico e giungono alla terza vertebra lombare.

Le fibre pre-gangliari del **sistema ortosimpatico** sono corte, poiché i loro gangli decorrono parallelamente al midollo spinale e sono concatenati gli uni agli altri. Dai gangli si irradiano fibre post-gangliari lunghe, poiché devono arrivare a tutti gli organi.

Dalla sezione cranio-sacrale del midollo spinale partono le fibre pre-gangliari del **sistema parasimpatico**; in particolare dalla sezione del cranio partono: il nervo oculo-motore che regola la funzione oculare, il nervo facciale e glosso-faringeo che regolano le ghiandole a livello del cranio, e il nervo vago che controlla la funzionalità cardiaca, respiratoria e gastro-intestinale, mentre dalla zona sacrale parte il nervo che controlla il tratto genito-urinario. I gangli del settore cranio-sacrale si trovano nelle immediate vicinanze dell'organo effettore, se non sull'organo stesso, pertanto le fibre pre-gangliari sono molto lunghe mentre le post-gangliari estremamente ridotte.

I due sistemi agiscono in senso opposto sui diversi organi, bilanciandone così le funzioni:

il **parasimpatico** provvede a funzioni viscerosensitive e somatosensitive, broncocostrizione, vasodilatazione, peristalsi della muscolatura gastroenterica, eccitosecrezione di ghiandole salivari, lacrimali, extramurarie annesse al tubo digerente (pancreas e fegato), stimola la quiete, il rilassamento, il riposo, la

digestione e l'immagazzinamento di energia, presiede dunque ad un sistema di adattamento definito “riposo e digestione”. In seguito agli stimoli del sistema parasimpatico, aumentano le secrezioni digestive, l'attività peristaltica viene esaltata, la pupilla si restringe, diminuisce la frequenza cardiaca e viene favorita la minzione, mentre il **simpatico** provvede a broncodilatazione, vasocostrizione, tachicardia. Ha una funzione stimolante, eccitante, contraente e presiede dunque ad un sistema di adattamento attacco e fuga, preparando l'organismo ad affrontare il pericolo. Il cuore aumenta la forza e la frequenza contrattile, i bronchi, la pupilla ed i vasi sanguigni dei muscoli appendicolari e del sistema coronarico si dilatano, i processi digestivi vengono sensibilmente rallentati, mentre i vasi sanguigni cutanei e periferici si costringono e la pressione arteriosa aumenta. La vescica si rilassa, mentre lo sfintere si restringe (inibisce la minzione).

Non sempre, però, il sistema nervoso simpatico si attiva in maniera così massiccia. Infatti, il SNA ha la funzione di regolare l'omeostasi dell'organismo tendendo a mantenerlo in una situazione di quiete.

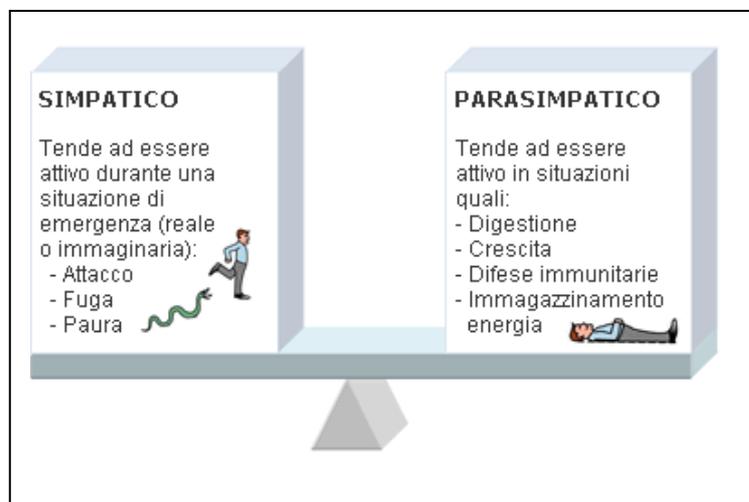


Fig. 1.3.

1.2. DISTURBI DEL SISTEMA NEUROVEGETATIVO

L'insieme dei disturbi dovuti al funzionamento anomalo del sistema neurovegetativo è chiamato disautonomia.

Poiché il sistema neurovegetativo regola pressione arteriosa, frequenza cardiaca, funzioni vescicali ed intestinali, tra i suoi principali disturbi si annoverano i disturbi della regolazione pressoria e della frequenza cardiaca, disfunzioni dell'apparato gastrointestinale, della sfera sessuale e delle funzioni sfinteriche.

Una delle più frequenti patologie è l'**ipotensione ortostatica** che consiste in un brusco calo della pressione sanguigna in seguito all'improvviso passaggio dalla posizione seduta o sdraiata a quella eretta. Tale abbassamento repentino provoca una riduzione dell'afflusso ematico a livello cerebrale con conseguenti capogiri e temporanee difficoltà visive, sensazioni di mancamento, debolezza, sudorazione profusa, confusione e mal di testa fino alla perdita di coscienza chiamata sincope.

Quando si verifica il passaggio dalla posizione sdraiata a quella eretta, la forza di gravità tende a richiamare il sangue negli arti inferiori. Il sistema venoso delle gambe non riesce a restituire immediatamente tutto il sangue sequestrato e ad opporsi con sufficiente efficacia al ristagno ematico dunque ne deriva un'inevitabile riduzione del ritorno di sangue al cuore. Il ridotto afflusso ematico ed il calo pressorio che ne derivano, vengono immediatamente captati da alcune strutture cellulari (barocettori), situate in prossimità del cuore e del collo. Tali organelli innescano una risposta sistemica atta a riportare nella norma la pressione ematica, basata quindi sull'aumento della costrizione dei vasi sanguigni, ma anche della frequenza e della contrattilità cardiaca. Se qualcosa in questo meccanismo di compensazione non funziona a dovere, il calo pressorio è tale da scatenare i sintomi tipicamente associati all'ipotensione ortostatica. Tale condizione può essere conseguente a:

- disidratazione, dovuta a febbre, vomito, diarrea, sudorazione profusa ed esercizio fisico strenuo;

- Diabete, quando non viene adeguatamente trattato con farmaci appropriati;
- Problemi cardiaci, alcune malattie del cuore come la bradicardia patologica e problemi valvolari;
- Malattie neurologiche degenerative, morbo di Parkinson, amiloidosi, sindrome di Shy-Drager e atrofia multisistemica;
- Farmaci ipotensivanti, farmaci antidepressivi, diuretici, anemia e alcolismo;

Un altro disturbo, precedentemente accennato, è la **sincope** o **svenimento** ovvero un' improvvisa e transitoria perdita di coscienza con perdita del tono posturale caratterizzata da insorgenza rapida, breve durata e recupero completo e spontaneo.

Una particolare tipologia di sincope è quella **neuromediata**, la quale può insorgere anche in persone sane. È causata da un riflesso nervoso che, in presenza di fattori predisponenti legati al singolo individuo, in talune circostanze scatenanti, legate a situazioni ambientali, conduce ad un improvviso calo della pressione arteriosa e, a volte, anche dei battiti cardiaci. In assenza di segni o sintomi riferibili ad una malattia cardiaca, la prognosi è comunque favorevole e benigna.

Le diverse tipologie di sincopi possono essere racchiuse in due gruppi:

- **Sincopi non cardiovascolari**, dovute a cause neurogene (patologie del sistema nervoso) o metaboliche (i neuroni sono molto sensibili alla mancanza di substrati energetici, particolarmente di una riduzione di glucosio nel sangue);
- **Sincopi cardiovascolari**, dovute ad una diminuzione o interruzione acuta dell'afflusso di sangue al cervello;

Un altro disturbo è rappresentato dalla **presincope**, grado minore della sincope, caratterizzata da sensazione di svenimento incipiente, debolezza, senso di nausea, sudorazione, ma senza perdita completa della coscienza.

Le alterazioni del sistema nervoso autonomo possono essere individuate nei Laboratori Neurovegetativi grazie all'esecuzione di test di valutazione del controllo vegetativo dei riflessi cardiovascolari (manovre). Questi test valutano le modificazioni di frequenza cardiaca e pressione arteriosa in rapporto ai cambiamenti di postura, all'attività respiratoria, al freddo, allo sforzo. Le principali indicazioni per l'esecuzione di queste indagini sono rappresentate dagli episodi sincopali, dall'ipotensione ortostatica, dalle disautonomie in corso di polineuropatie e dai parkinsonismi.

1.3. MANOVRE

I test eseguiti presso i Laboratori Neurovegetativi sono:

- 1) TILT TEST O TEST ORTOSTATICO
- 2) MANOVRA DI VALSALVA
- 3) RESPIRO PROFONDO
- 4) COLD FACE
- 5) HANDGRIP TEST O SFORZO ISOMETRICO

Affinchè questi test possano essere eseguiti correttamente, è necessario soddisfare le seguenti condizioni:

- Ambiente idoneo:
 - ❖ Climatizzazione 23 ° - 25 ° ;
 - ❖ Illuminazione indiretta;
 - ❖ Bassa rumorosità;
 - ❖ Presenze nel laboratorio;
 - ❖ Sicurezza;

- Interazione tecnico-paziente:
 - ❖ Anamnesi mirata preliminare;

- ❖ Comunicazione preliminare e durante le manovre finalizzata ad ottenere la massima collaborazione da parte del paziente;
 - ❖ Valutazione in tempo reale della qualità di esecuzione dei test con eventuali modifiche delle dinamiche o ripetizione;
 - ❖ Identificazione di eventi acuti;
 - ❖ Osservazione, verifica e correlazione dei segnali e/o dei sintomi significativi per la diagnosi;
- Standardizzazione modalità d'esecuzione:
 - ❖ Procedure definite e ripetibili;
 - ❖ Strumenti d'esecuzione idonei;
 - ❖ Verifica qualitativa e quantitativa delle modificazioni indotte in tempo reale;

Di seguito, sono riportate le descrizioni dettagliate di ciascun test.

1) Tilt Test

Il passaggio dalla posizione supina a quella eretta provoca il trasferimento di 300-800 cm di sangue dal compartimento vascolare centrale alle regioni declivi con conseguente transitoria ipotensione. Questo stress ortostatico evoca quindi una serie di risposte cardiovascolari compensatorie necessarie al mantenimento dell'omeostasi che provocano un rapido incremento della FC con due picchi: uno precoce (a 3 secondi) legato a inibizione vagale prodotta dall'integrazione di afferenze provenienti da contrazione muscolare e da sedi centrali (insula e cingolo) ed uno più graduale (a 12 secondi) legato all'inibizione vagale e ad attivazione del simpatico legata al baroriflesso causata dalla transitoria ipotensione. Il tilt test passivo, riducendo la risposta compensatoria dovuta alla contrazione muscolare attiva, esagera questo meccanismo e aumenta la sensibilità del test. La FC e la PA ritornano nuovamente a livelli basali dopo circa 30 secondi.

Modalità di esecuzione del test: il paziente viene portato passivamente in posizione eretta a 60-70 ° tramite un letto basculabile dotato di base d'appoggio per i piedi. Il tilt test dura 10 minuti quando l'indicazione è una

sospetta ipotensione ortostatica. Nei casi in cui si esegue il test in pazienti con episodi di perdita di coscienza da causa ignota sospetti per sincope neuromediata la durata è di 30 minuti. Durante il test possono essere effettuate manovre provocatorie per scatenare gli episodi sincopali.

2) **Manovra di Valsalva**, viene suddivisa in 4 fasi:

Fase I: coincide con l'inizio dell'espiazione ed è caratterizzata da incremento della pressione intratoracica e addominale responsabile di una compressione meccanica dell'aorta con conseguente incremento transitorio della PA e riduzione della FC;

Fase II: coincide con il protrarsi dell'espiazione con riduzione del ritorno venoso al cuore e della gittata cardiaca da cui conseguono una riduzione della PA e incremento della FC. Nei soggetti normali la fase II si caratterizza per iniziale calo della PA (fase II a-iniziale) seguita da un lento recupero dei valori pressori (fase II b-tardiva), legata a incremento delle Resistenze Periferiche Totali (per aumento dell'attività simpatica e delle catecolamine circolanti);

Fase III: è meccanica come la fase I ed è caratterizzata da decremento transitorio PA con aumento della FC legato al riempimento dei vasi intratoracici immediatamente dopo la manovra;

Fase IV: è caratterizzata dalla normalizzazione della gittata cardiaca e del ritorno venoso, mentre permangono elevate le RPT Resistenze Periferiche Totali per effetto dell'attività simpatica: ne consegue un notevole incremento della PA al di sopra dei livelli basali.

Modalità di esecuzione del test: La manovra consiste nel far eseguire al paziente una espiazione forzata a glottide aperta tale da produrre una pressione equivalente a 40 mmHg per un tempo di 15 secondi.

Il paziente viene istruito a espirare, dopo un normale atto inspiratorio, in un boccaglio collegato attraverso un tubo flessibile al dispositivo di visualizzazione della pressione prodotta. La condizione di "glottide aperta" viene resa possibile da un'apertura del circuito pneumatico.

La manovra richiede che l'operatore segnali attraverso un marker l'inizio e la fine del test. La Manovra viene ripetuta almeno tre volte con un intervallo

di almeno 2 minuti tra una e l'altra. L'esame viene preferibilmente eseguito in posizione seduta per sfruttare al meglio gli effetti circolatori ottenuti in questa posizione. Tuttavia in laboratorio si preferisce la posizione supina per evitare un'eccessiva caduta della PA durante la manovra, soprattutto nei pazienti con sospetta disautonomia. I fattori che possono influenzare la risposta alla manovra di Valsalva sono rappresentati da età e sesso, posizione del soggetto, pressione espiratoria, durata dello sforzo, volume inspiratorio, volemia, farmaci.

3) Respiro profondo, valuta l'aritmia respiratoria.

Modalità di esecuzione del test: il soggetto, in posizione supina, viene invitato a respirare profondamente per 10 atti respiratori al ritmo di 6 atti consecutivi al minuto (cicli espiratori e inspiratori di 5 secondi) seguendo un comando visivo e/o acustico

Fattori che possono alterare la risposta della FC al respiro profondo sono età, frequenza di respirazione, metodo di analisi, ipocapnia, influenza dell'attività simpatica, posizione del soggetto, farmaci, profondità del respiro, obesità.

4) Cold face

Lo stimolo freddo nell'area innervata dalla I branca del trigemino determina una bradicardia legata ad attivazione vagale centrale. Si associa inoltre vaso costrizione periferica con incremento della pressione arteriosa.

Modalità di esecuzione del test: si applica un sacchetto pieno d'acqua e cubetti di ghiaccio sulla fronte del paziente per 1 minuto, durante respirazione regolare ed eventualmente durante apnea volontaria (per eliminare le variazioni della FC elicitate da tale manovra).

Si ha un incremento della PA e decremento della FC. Tale test è controindicato in caso di bradicardia e blocchi di branca.

5) Sforzo isometrico

La risposta si origina a livello dei chemocettori, sensibili alle molecole prodotte dalle fibrocellule muscolari striate durante la contrazione

muscolare, attraverso fibre nervose afferenti mieliniche di piccolo calibro ed amieliniche, che determinano risposte riflesse cardiovascolari e vasomotorie. Inoltre, intervengono riflessi mediati da meccanocettori muscolari e controllo soprasegmentario.

La risposta fisiologica è rappresentata da un aumento della PA e FC. In condizioni fisiologiche la pressione arteriosa diastolica (PAD) è >15 mmHg. In caso di patologie è di 10 mmHg.

Modalità di esecuzione del test: il soggetto è invitato a compiere una contrazione muscolare massimale stringendo la maniglia di uno sfigmomanometro. Si calcola quindi il 30% della contrazione muscolare effettuata e si chiede al paziente di mantenere tale contrazione per 3-5 minuti.

Fattori che possono alterare o rendere ineseguibile il test sono: paziente non collaborante e deficit di forza distale (es.: miopatie, neuropatie ...). L'esame è controindicato in caso di cardiopatia ischemica.

Il monitoraggio, l'esecuzione e la quantificazione dei test di valutazione del controllo vegetativo dei riflessi cardiovascolari avviene grazie all'utilizzo dei poligrafi.

CAPITOLO 2

POLIGRAFIA

2.1. POLIGRAFIA IN NEUROFISIOLOGIA

Il poligrafo è uno strumento scientifico progettato per l'acquisizione e l'analisi dei segnali neurofisiologici e cardiovascolari quali pressione sanguigna, ECG, EEG e attività respiratoria.

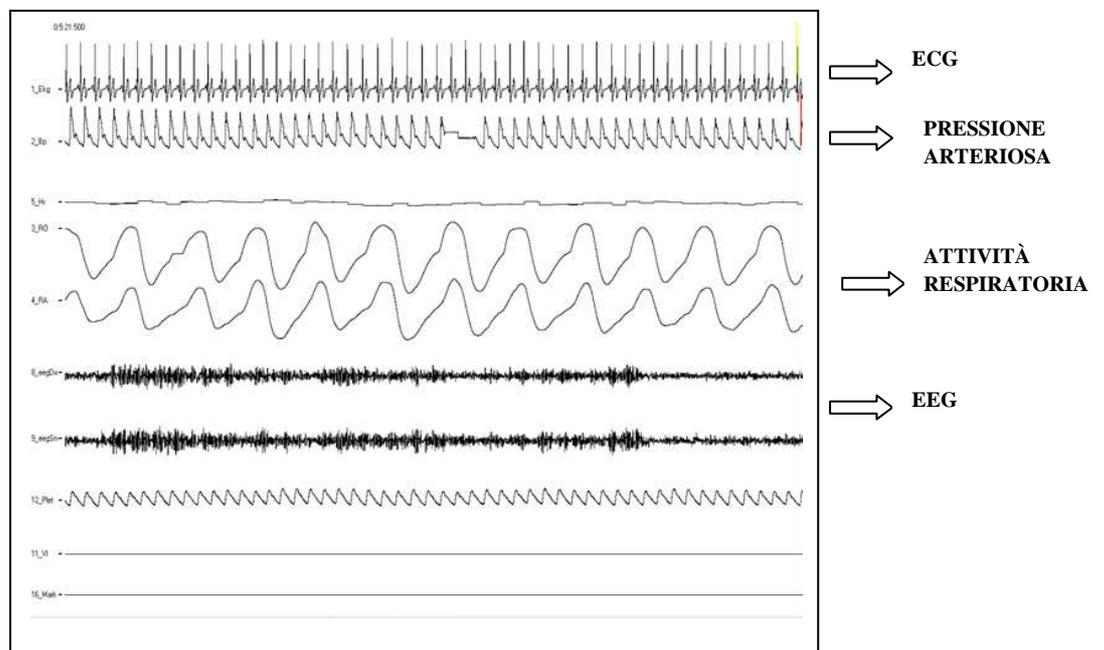


Fig. 2.1.

L'utilizzo del poligrafo nei laboratori di neurofisiologia è prettamente finalizzato alla diagnostica.

2.2. UN PO' DI STORIA



Fig. 2.2.

Il poligrafo fu inventato nel 1921 da John Augustus Larson, uno studente di medicina dell' Università della California a Berkeley che lavorava per il Dipartimento di Polizia di Berkeley ed è considerato ufficialmente una delle più grandi invenzioni di tutti i tempi.

Tale invenzione, che fu popolarmente indicata come una macchina della verità, registrava i cambiamenti delle variabili fisiologiche mentre al soggetto venivano poste delle domande pertinenti ad uno specifico argomento, oggetto dell'inchiesta.

La convinzione era che una risposta fuorviante potesse produrre risposte fisiologiche differenti da quelle associate a risposte giuste.

Ulteriori lavori su tale dispositivo furono fatte da Keeler e poi da Reid, anche se i primi dispositivi per il rilevamento di una menzogna risalgono ad un'invenzione del 1895 di Cesare Lombroso, usata per misurare i cambiamenti della pressione sanguigna nei casi di polizia.

2.3. ESIGENZE DI UN LABORATORIO E STATO DELL'ARTE

Dagli studi condotti e dall'esperienza maturata durante l'esecuzione dei vari test nei laboratori di neurofisiologia si è giunti all'importante considerazione che, per effettuare una corretta diagnosi differenziale, è importante valutare:

- a) Modifica dei tracciati
- b) Manifestazione clinica

Per la valutazione della manifestazione clinica è dunque importante disporre di un video del paziente sottoposto al test. Questo aspetto è di fondamentale importanza poiché spesso, durante l'esecuzione di un test, eventi patologici sono accompagnati da movimenti del corpo ed emissione di suoni da parte del paziente. Dunque, si ha la possibilità di associare l'immagine del paziente in quel determinato istante ad un punto del tracciato in cui si registra un cambiamento significativo di un parametro. Durante una sincope, ad esempio, risulta possibile associare e verificare l'istante in cui essa si verifica e il punto in cui si hanno le modifiche emodinamiche che la causano.

Di seguito viene riportato il caso di una sincope vasodepressoria.

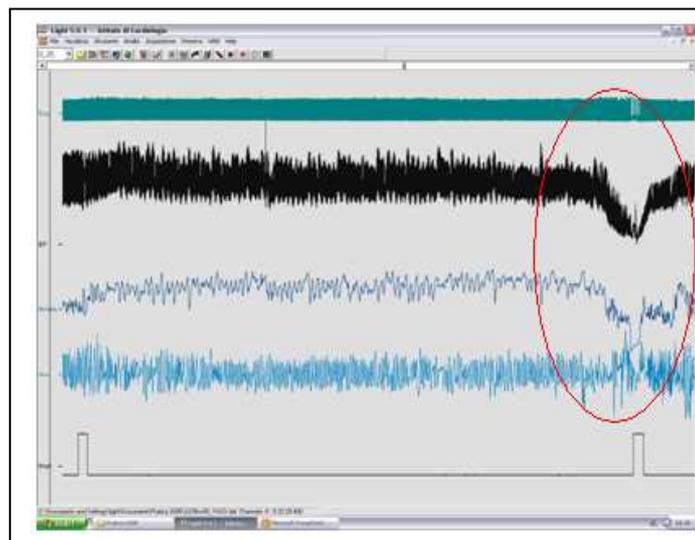


Fig. 2.3.

Dall'analisi del tracciato, è possibile definire l'evento patologico dalla diminuzione della pressione arteriosa e dalla contemporanea bradicardia.

La video-poligrafia (possibilità di associare ai tracciati un video del paziente sottoposto al test), offre un valore aggiunto in quanto riproduce la manifestazione fisica dell'evento consentendo di osservare i movimenti corporei prima e durante il verificarsi di esso ed associare queste manifestazioni motorie a modificazioni del segnale acquisito.

Questo è di fondamentale importanza poiché durante un'analisi off line, riguardando il video, è possibile individuare l'istante in cui si sono manifestati i sintomi motori ed automaticamente rintracciarlo all'interno dei tracciati.



Fig 2.4. a) Fotogramma del paziente precedente a quello in cui si verifica l'evento sincope;

b) Fotogramma del paziente all'istante in cui si verifica l'evento sincope. La perdita del controllo posturale viene evidenziata dal cedimento degli arti inferiori;

Per decenni i laboratori di neurofisiologia si sono avvalsi dell'utilizzo di poligrafi analogici.

Un poligrafo analogico si avvale del movimento di penne ad inchiostro che lasciano un tracciato su carta scorrevole.

La poligrafia analogica utilizza due telecamere, una che filma il paziente e l'altra i tracciati, collegate non fisicamente al sistema ma ad un mixer video. Dunque il video viene processato autonomamente e poi trasferito su VHS.

L'avvento del digitale ha portato all'introduzione dei poligrafi digitali in cui la carta scorrevole è stata sostituita da pc con sofisticati algoritmi e monitor.

Dunque, ciò che caratterizza e distingue un poligrafo digitale da uno analogico è che i dati vengono digitalizzati, processati e poi visualizzati.

Inoltre il poligrafo digitale presenta un collegamento fisico tra telecamera fissa sul paziente e sistema e quindi il video viene processato direttamente dal pc e visualizzato a monitor, in sincronismo con il tracciato.

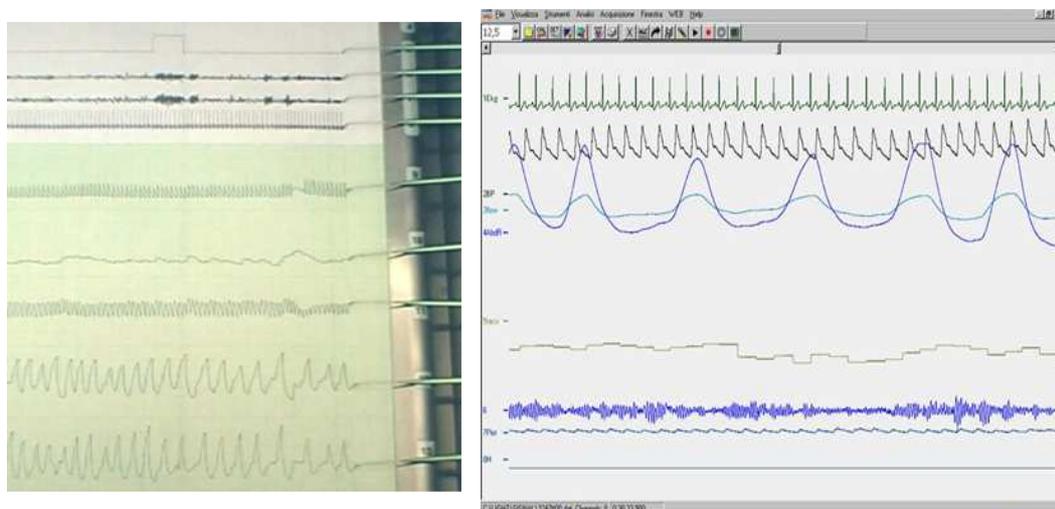


Fig. 2.5.

In molti laboratori di neurofisiologia dell' Università di Bologna il passaggio dall'analogico al digitale è stato scandito dall'introduzione di **sistemi digitali integrati** mentre in altri, come il Laboratorio Neurovegetativo con il quale si è svolta la collaborazione per questo lavoro di tesi, questo passaggio non è

avvenuto, tanto che il poligrafo analogico è stato l'unico ad essere utilizzato fino ad oggi. Questo perché i sistemi integrati presentano dei limiti:

- **Gestione non modulare**, sistema costituito da un unico componente e non da più moduli. Questo non permette di prevedere, in un secondo momento, moduli aggiuntivi per monitorare e registrare ulteriori parametri. Inoltre, in caso di mal funzionamento, risulta complesso isolare un danno;
- **Mancanza di flessibilità del software**, un'opzione o viene prevista al momento della progettazione e della successiva messa in commercio del prodotto, oppure non può essere aggiunta. Questo perché richiederebbe un notevole dispendio economico da parte della casa produttrice che dovrebbe provvedere ad effettuare nuove certificazioni, al ritiro dei vecchi manuali d'uso e alla distribuzione di nuovi;

Da ciò è nata la richiesta di progettare e realizzare **sistemi digitali modulari** che nascono proprio con la prerogativa di superare questi limiti.

Una soluzione è rappresentata dal sistema modulare Light, poligrafo neurovascolare realizzato dalla Spark srl in collaborazione con il Laboratorio Neurovegetativo dell'Università di Bologna e che andrà a sostituire il poligrafo analogico.

CAPITOLO 3

IL SISTEMA LIGHT

3.1. DESCRIZIONE DEL DISPOSITIVO

Il sistema Light di Spark srl (SparkBIO) è uno strumento creato per gestire con facilità l'acquisizione dei segnali neurofisiologici e cardiovascolari e per automatizzarne l'analisi. Offre una visualizzazione simultanea di diversi segnali elettrofisiologici, con memorizzazione ed architettura aperta, sempre accessibile anche quando si utilizzano applicazioni esterne.

È un sistema modulare che acquisisce fino a 16 sorgenti di segnale analogico provenienti da moduli dedicati e tramite un potente software di gestione consente la loro memorizzazione, elaborazione e generazione di report per facilitare il lavoro dell'operatore. Inoltre, è l'unico dispositivo medico in grado di acquisire fino a 16 sorgenti di segnale analogico e contestualmente di automatizzare l'analisi dei dati acquisiti durante l'esecuzione dei più comuni test di valutazione del controllo vegetativo dei riflessi cardiovascolari. Il modulo di acquisizione, infatti, può essere connesso a tutti i dispositivi con uscita analogica presenti nei laboratori di neurofisiologia.

3.1.1. COMPONENTI



Fig. 3.1.

Il sistema Light è costituito da quattro componenti essenziali:

- 1) UNITA' CENTRALE: modulo di conversione A/D e PC con doppio monitor LCD 19" + stampante laser. Modulo di acquisizione e campionamento di 16 segnali dall'uscita analogica di strumenti dedicati alla particolare procedura: provvede alla conversione analogico digitale

ed alla trasmissione al personal computer tramite comunicazione seriale. Il microprocessore presente nel modulo d'acquisizione è un Renesas H8/3337. Sul PC viene installato un programma dedicato al ricevimento dei dati digitali provenienti dal modulo workstation, al loro filtraggio, alla loro memorizzazione e presentazione in tempo reale sullo schermo del calcolatore, all'analisi numerica dei segnali relativi alle procedure eseguite dall'operatore, all'automatizzazione della sequenza delle procedure effettuate dall'operatore e alla generazione di report in formato word. Il programma permette anche una personalizzazione delle modalità di presentazione dei segnali, attraverso la regolazione della velocità di scorrimento e della amplificazione dei segnali presentati. Le funzioni indicate sono comuni a tutte le configurazioni operative in cui il sistema Light può essere installato, ottenendo di fatto una standardizzazione dei records e la possibilità di conversione di segnali acquisiti e memorizzati in altro formato. Il sistema risulta essere pertanto di tipo open-source: l'utente potrà accedere in qualsiasi momento ai segnali memorizzati ed elaborarli per fare analisi di vario tipo utilizzando i software più diffusi disponibili in commercio (es. Matlab) oppure tramite le funzioni di Excel o altri fogli di calcolo. Il software Light fornisce misure e calcoli su richiesta dell'operatore relativamente ai dati acquisiti che non rappresentano in alcun modo un output di tipo diagnostico. Il PC, l'unità di campionamento, i monitor LCD e la stampante vengono montati su un carrello di tipo medical grade dotato di trasformatore di isolamento.

- 2) MODULO PER L'ACQUISIZIONE DELLA PRESSIONE ARTERIOSA IN MODALITA' BATTITO-BATTITO NON INVASIVA (modello FINOMETER MODEL-2 MIDI - marca Finapres Medical Systems B.V.)

- 3) MODULO ECG 3-12 DERIVAZIONI (CLICK ECG - ET Medical Devices Spa) o in alternativa MODULO ECG MONODERIVAZIONE (accessorio del FINOMETER MODEL-2 MIDI)

- 4) MODULO PER L'ACQUISIZIONE DI 12 CANALI DI TIPO EEG (GRASS TECHNOLOGIES) sia per l'elettroencefalogramma sia per i segnali di ventilazione respiratoria

Inoltre, prevede anche dei moduli opzionali, integrabili anche in un secondo momento:

- VALSALVA MONITOR per la gestione assistita delle procedure tramite feedback visivo ed acustico
- MODULO PER L'ACQUISIZIONE DI 2 CANALI DI TIPO DC (GRASS TECHNOLOGIES) per trasduttori esterni
- MODULO PER L'ACQUISIZIONE DEL SEGNALE DI PERFUSIONE CUTANEA (LASER DOPPLER PERIMED)
- MODULO PER L'ACQUISIZIONE DELLA SATURAZIONE DI OSSIGENO (NELLCOR N600)
- MODULO PER L'ACQUISIZIONE DEL DOPPLER TRANSCRANICO (modello DOPPLER BOX - marca DWL COMPUMEDICS)
- MODULO PER L'ACQUISIZIONE DELLA PORTATA CARDIACA TRAMITE METODO IMPEDENZIOMETRICO (modello NICO100 - marca BIOPAC)
- MODULO DATABASE per l'archiviazione automatica dei dati di procedura in ambiente web (database distribuito)
- LETTINO BASCULANTE PER TILT-TEST (marca MECEM)

3.1.2. CARATTERISTICHE TECNICHE

Principali caratteristiche tecniche:

- Dinamica di ingresso: 0 - 10 Volts, single ended
- Fino a 16 canali analogici indipendenti
- Frequenza di campionamento 750 Hz/canale con 16 canali attivi (è possibile aumentare la frequenza di campionamento diminuendo il numero di canali attivi)
- Risoluzione in ampiezza 12 bit
- Alimentazione: trasformatore di isolamento di tipo medical grade
- Trasmissione seriale ad alta velocità RS 232 standard
- Peso: 32,5 kg
- Dimensioni: H 160cm x L 60cm x P 45cm

3.1.3. ANALISI IN FREQUENZA E FUNZIONI SOFTWARE AVANZATE

Con il sistema Light è possibile effettuare semplici analisi in frequenza sia di spezzoni di tracciato di segnali sia di successioni di intervalli RR.

All'interno del software esiste, infatti, un modulo di analisi in frequenza che consente semplici valutazioni basate sulla Trasformata di Fourier o sulla Analisi Autoregressiva.

Sono disponibili le seguenti funzioni in ambito software:

- Trasformata di Fourier
- PSD
- Short Time FT
- Derivata
- Filtro Notch
- Filtro passa basso
- Filtro passa banda

- Filtro elimina banda
- Roll-off (Hz)
- FFT
- Autocorrelazione

3.2. PROCEDURA DI ACQUISIZIONE DEI SEGNALI

Come descritto precedentemente, l'unità centrale acquisisce e campiona fino a 16 segnali dall'uscita analogica di strumenti ad una frequenza di campionamento di 500 Hz. Dunque, 500 volte al secondo vengono generati 16 valori numerici ciascuno di 2 byte (16 bit) che devono essere trasmessi al PC via seriale. Per trasmettere tutte le informazioni sarebbe quindi necessaria una velocità di trasmissione almeno pari a 128kbit/s.

Poiché la trasmissione seriale ha dei limiti intrinseci di velocità (generalmente il massimo baud rate è pari a 115200bit/s) se i valori sono molti, per trasmetterli bisognerebbe comprimerli.

Per risolvere questo problema e trasmettere meno dati viene utilizzata la trasmissione delle differenze. Essa prevede che ad essere trasmessi siano non i valori, ma la differenza tra due campioni successivi. In questo modo è possibile trasmettere l'informazione usando solo 8 bit e riducendo in maniera consistente il baud rate richiesto.

I dati vengono ricevuti dal PC che li memorizza in un file li disegna sul monitor.

3.3. VANTAGGI DEL SISTEMA LIGHT

Il sistema light presenta dei vantaggi rispetto alle soluzioni già in uso nei laboratori di neurofisiologia e precedenti ad esso:

- L'impiego di tutti i dispositivi già presenti nei laboratori;
- Visualizzazione simultanea di tutti i diversi segnali elettrofisiologici: memorizzazione ed architettura aperta, sempre accessibile anche quando si utilizzano applicazioni esterne;
- Raccolta e immagazzinamento in un unico sistema centrale: possibilità di progetti di ricerca in via di sviluppo utilizzando un'architettura distribuita (policentrica);
- Software per rilevamento automatico e gestione delle comuni manovre (Cap. 1) svolte nel dipartimento di fisiologia;
- Analisi automatica di ciascuna manovra e ricerca dei parametri richiesti;
- Creazione di dettagliati reports in formato word;
- Creazione di file ASCII per esportare e leggere i valori identificati utilizzando programmi diversi che necessitano del formato txt;
- Analisi della HRV (heart rate variability) per identificare le componenti di frequenza della sequenza RR (attivazione simpatica e vagale) usando diversi algoritmi (es. FFT);
- Applicazione di protocolli per la ricerca;

3.4. UTILIZZO DEL SISTEMA LIGHT NEI LABORATORI DI ESPLORAZIONE FUNZIONALE DEL SISTEMA NERVOSO VEGETATIVO

L'utilizzo del poligrafo neurovascolare Light è finalizzato al monitoraggio, esecuzione e quantificazione dei test di valutazione dei riflessi cardiovascolari.

Come già descritto nel paragrafo 3.1.1, i segnali neurofisiologici e cardiovascolari vengono acquisiti con moduli separati. In particolare, durante l'esecuzione di questi test, vengono acquisiti e quindi monitorati ECG, pressione arteriosa, attività respiratoria al fine di quantificare battito a battito la frequenza cardiaca e la pressione arteriosa, ed EEG al fine di valutare modifiche del tracciato nel caso in cui si verificano eventi patologici.

Il sistema light consente l'esecuzione automatica delle manovre e questo richiede l'introduzione di **marker di manovra** alla fine e all'inizio di ciascuna di esse che:

- ❖ offrano una correlazione tra tracciato e manovra;
- ❖ siano determinanti per la quantificazione manuale o automatica dei test RCV;

La quantificazione dei test di valutazione dei riflessi cardiovascolari avviene, successivamente, con:

- Identificazione delle manovre attraverso i marker;
- Applicazione di semplici algoritmi di calcolo (media,Max,Min) alle sequenze di intervalli RR e relativi valori di pressione definiti dal protocollo di valutazione;
- Calcolo degli indici di manovra;

Vediamo nel dettaglio la quantificazione di ciascun test:

Tilt test:

I Parametri valutati sono la modificazione della PA sistolica e diastolica (PAS e PAD) e la FC al termine del test rispetto ai valori basali. L'analisi quantitativa finalizzata alla definizione dell'ipotensione ortostatica considera tre periodi: Base Tilt, Fine Tilt , Post Tilt.

BASE TILT

I battiti considerati sono quelli intervenuti nel periodo compreso fra i cinque minuti antecedenti il Marker di inizio basculamento. Come valori basali di FC, PAS, PAD vengono presi i valori medi all'interno dell' intervallo considerato, cioè :

- Med frq = Basale FC
- Med pas= Basale PAS
- Med pad= Basale PAD

TILT 10

Battiti compresi nel minuto antecedente il termine dell'ortostatismo.

Come valori di FC, PAS, PAD vengono presi i loro valori medi all' interno dell' intervallo considerato:

- Med frq = 1 min. FC
- Med pas =1 min. PAS
- Med pad= 1 min. PAD

POST TILT

Battiti compresi tra il quarto e il quinto minuto successivi al marker di fine ortostatismo. Come valori di FC, PAS, PAD vengono considerati i loro valori medi all'interno dell'intervallo individuato:

- Med frq = post 5 FC
- Med pas= post 5 PAS

- Med pad = post 5 PAD

Da questa elaborazione si calcolano i seguenti indici di manovra:

$$\text{Delta FC} = (1 \text{ min FC}) - (\text{Basale FC})$$

$$\% \text{ FC} = (\text{Delta FC}) / (\text{Basale FC}) * 100$$

$$\text{Delta PAS} = (1 \text{ min PAS}) - (\text{Basale PAS})$$

$$\% \text{ FC} = (\text{Delta PAS}) / (\text{Basale PAS}) * 100$$

$$\text{Delta PAD} = (1 \text{ min PAD}) - (\text{Basale PAD})$$

$$\% \text{ PAD} = (\text{Delta PAD}) / (\text{Basale PAD}) * 100$$

Manovra di Valsalva

Oltre alla valutazione delle modificazioni pressorie e della FC in ogni fase della manovra, vengono considerati anche:

- Valsalva Ratio (VR), ovvero il rapporto tra l'intervallo R-R minimo durante la tachicardia della fase II e l'R-R più lungo durante la bradicardia della fase IV;
- Overshoot, ovvero l'incremento della PAS oltre i valori basali al termine della manovra. Non esistono valori normativi per quanto riguarda questo parametro;

L'analisi quantitativa della manovra si basa sulla identificazione delle fasi in funzione delle modificazione della Pressione Arteriosa Sistolica.

BASE V1

I battiti considerati sono i dieci antecedenti la manovra. Come valori base vengono presi i valori medi di FC, PAS, PAD in questo intervallo:

- Med frq = Base FC
- Med pas = Base PAS
- Med pad = Base PAD

V1

I battiti esaminati sono quelli compresi fra i marker di manovra . Si distinguono tre fasi:

FASE 1

Si considera il massimo valore di pas con frequenza e pad relative e tempo dal marker di inizio manovra . Si osservi che la frequenza ha valore minimo.

- Frequenza = I FC
- Pas = I PAS
- Pad = I PAD
- Time = Time

FASE 2a

Si considera il minimo valore di pas con l' esclusione dei primi tre battiti con frequenza e pad relative e tempo dal marker di inizio manovra . Si osserva che la frequenza assume il valore massimo:

- Frequenza = II FC
- Pas = II PAS
- Pad = II PAD
- Time = Time

FASE 2b

Si considera il battito precedente la label finale con frequenza, pam, pad relative. tempo dal marker di inizio manovra:

- Frequenza = IIb FC
- Pas = IIb PAS
- Pad = IIb PAD
- Time = Time

POST V1

I battiti esaminati sono quelli compresi nei 20 secondi successivi al marker di fine manovra:

- Max frq = III FC
- Min pas = III PAS
- Min pad = III PAD

OVERSHOOT

Si considera il massimo PAS con frequenza, PAD e PAM relativi e il tempo di manovra:

- Max pas = IV PAS
- Max pad = IV PAD
- Time = Time

RR SUCCESSIVO

Vengono riportati i dati relativi al battito successivo alla rilevazione precedente, cioè all'*OVERSHOOT*

- **Min frq = IV FC**

MAX BRADICARDIA

Si considera il minimo della frequenza con PAS PAD e PAM relativi e il tempo di manovra.

- Time = Time max bradicardia

OVERSHOOT = (IV PAS) -- (BASE PAS)

VR = (II FC) / (IV FC)

Respiro profondo

I parametri valutati sono :

E:I ratio è il rapporto tra il valore medio degli intervalli R-R più lunghi durante ogni espirazione (in secondi) e il valore medio degli R-R più brevi (in secondi) durante ogni inspirazione.

Valori =1,10 sono considerati patologici.

Intervallo I-E è considerato il parametro più sensibile per valutare il sistema vagale cardiaco. Si ottiene calcolando la differenza tra la FC massima e minima per ognuno dei 6 cicli respiratori. Si calcola quindi la media ottenendo la “differenza inspiratoria-espiratoria” in battiti al minuto.

Valori = 10 bpm sono considerati patologici; Valori = 11-15 borderline; Valori >15 normali.

In questo esame viene effettuata un'analisi quantitativa sull'insieme di tutti i massimi e di tutti i minimi delle grandezze rr, frq, pas, pad, pam nell'insieme dato.

I massimi ed i minimi vengono individuati con il seguente criterio: si consideri un insieme di n dati. Diciamo che il dato X è un massimo (minimo) all'interno di tale insieme se confrontando il suo valore con i tre dati che lo precedono e i tre che lo seguono risulta essere il maggiore (minore). Data la scelta dell'intervallo vengono trascurati i primi e gli ultimi tre tra i dati rilevati.

BASE RP

Si considerano i dieci battiti antecedenti la label rpp00. Si considera come FC la media delle frequenze in questo intervallo:

- Med frq = FC

RP

Si considerano I battiti contenuti tra le labels rpp00 e rpp01. Su questo intervallo si fa un'analisi dei massimi e una dei minimi. Si assegnano come valori a FC la media dei suoi valori massimi e minimi rispettivamente:

- Med max frq = media max. FC
- Med min frq = media min. FC

Delta FC = (media min. FC) - (media max. FC)

Delta % = $\left(\frac{\text{Max dei massimi} - \text{Min dei minimi}}{\text{Media Min.} + \text{Media Max}} \right) / 2 * 100$

I/E = (media max. FC) / (media min. FC)

Esercizio isometrico

L'analisi quantitativa considera due periodi: BASE HG e HG.

BASE HG

Si considerano i battiti intervenuti nei tre minuti antecedenti il marker di inizio manovra. Alle grandezze Base FC, Base PAS e Base PAD vengono assegnati i valori medi di frq, pas, pad in questo intervallo:

- Med frq = BASE FC
- Med pas = BASE PAS
- Med pad = BASE PAD

HG

Si considerano i battiti intervenuti nel minuto antecedente il marker di fine manovra. Alle grandezze MIN FC, MIN PAS e MIN PAD vengono assegnati i valori medi di frq, pas, pad in questo intervallo:

- Med frq = XX MIN FC
- Med pas = XX MIN PAS
- Med pad = XX MIN PAD

DELTA FRQ = (MIN FC) - (BASE FC)

DELTA % = (DELTA FRQ) / (BASE FC) * 100

DELTA PAS = (MIN PAS) - (BASE PAS)

DELTA % = (DELTA PAS) / (BASE PAS) * 100

DELTA PAD = (MIN PAD) - (BASE PAD)

DELTA % = (DELTA PAD) / (BASE PAD) * 100

DELTA TIME = TEMPO DI MANOVRA

Cold face

L'analisi quantitativa considera due periodi: BASE CF e CF.

BASE CF

Si considerano i dieci battiti precedenti l'inizio del test . Alle grandezze Base FC, Base PAS e Base PAD vengono assegnati i valori medi di frq, pas, pad:

- Med frq = BASE FC
- Med pas = BASE PAS
- Med pad = BASE PAD

CF

I battiti considerati sono quelli registrati a partire dai dieci secondi successivi al marker di inizio manovra fino al termine della stessa. A PAS e PAD vengono assegnati i valori massimi di pas e pad in questo intervallo; mentre a FC il valore minimo:

- Max pas = 60 SEC PAS
- Max pad = 60 SEC PAD
- Min frq = 60 SEC FC

DELTA PAS = (60 SEC PAS) - (BASE PAS)

DELTA % = (DELTA PAS) / (BASE PAS) * 100

DELTA PAD = (60 SEC PAD) - (BASE PAD)

DELTA % = (DELTA PAD) / (BASE PAD) * 100

DELTA FRQ = (BASE FC) - (60 SEC FC)

DELTA % = (DELTA FRQ) / (BASE FC) * 10

Altri valori determinati:

MIN FRQ = tempo corrispondente al valore minimo

MIN PAS = tempo corrispondente al valore minimo

MIN PAD = tempo corrispondente al valore minimo

MIN PAM = tempo corrispondente al valore minimo

MAX FRQ = tempo corrispondente al valore massimo

MAX PAS = tempo corrispondente al valore massimo

MAX PAD = tempo corrispondente al valore massimo

MAX PAM = tempo corrispondente al valore massimo

Alla fine dell'analisi quantitativa, è possibile generare il referto medico del paziente che può essere memorizzato, assieme ai dati del paziente e all'anamnesi, all'interno di un database interrogabile attraverso un applicativo web.

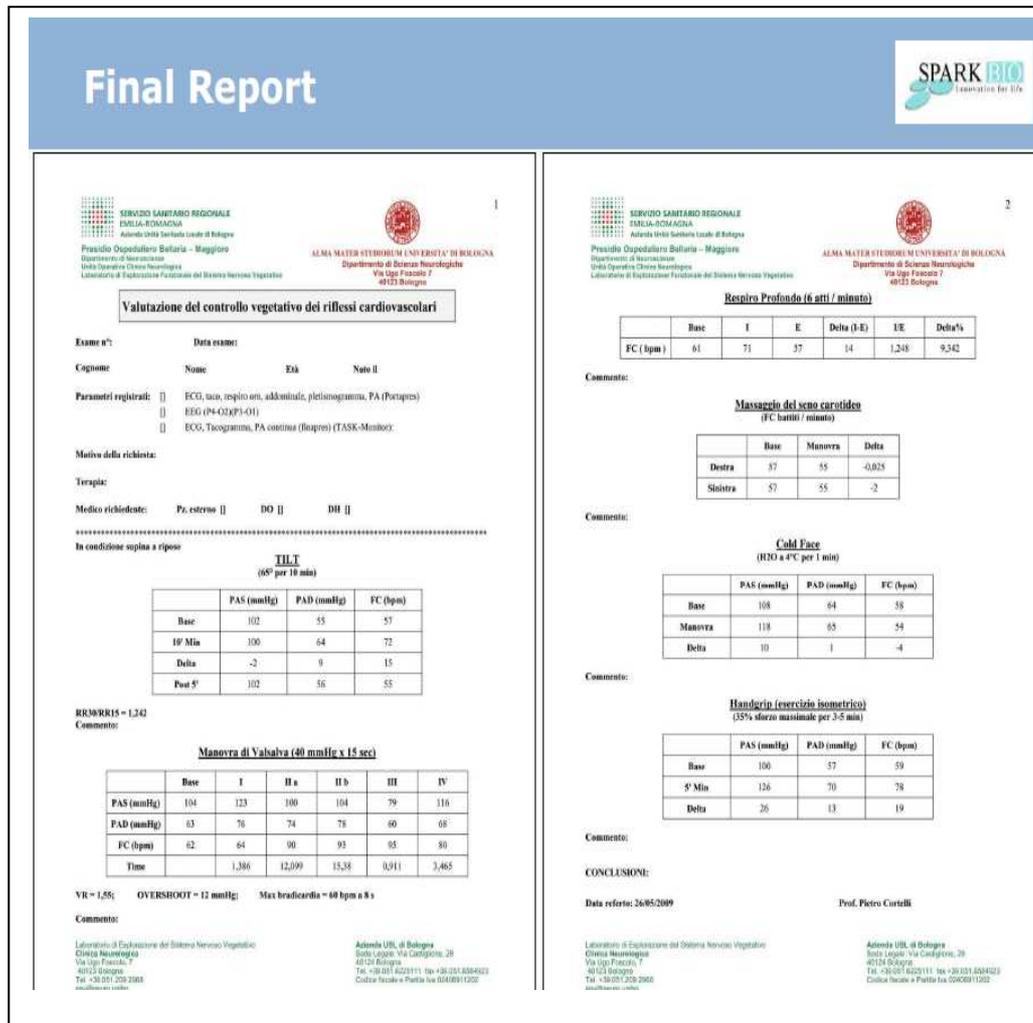


Fig. 3.2.

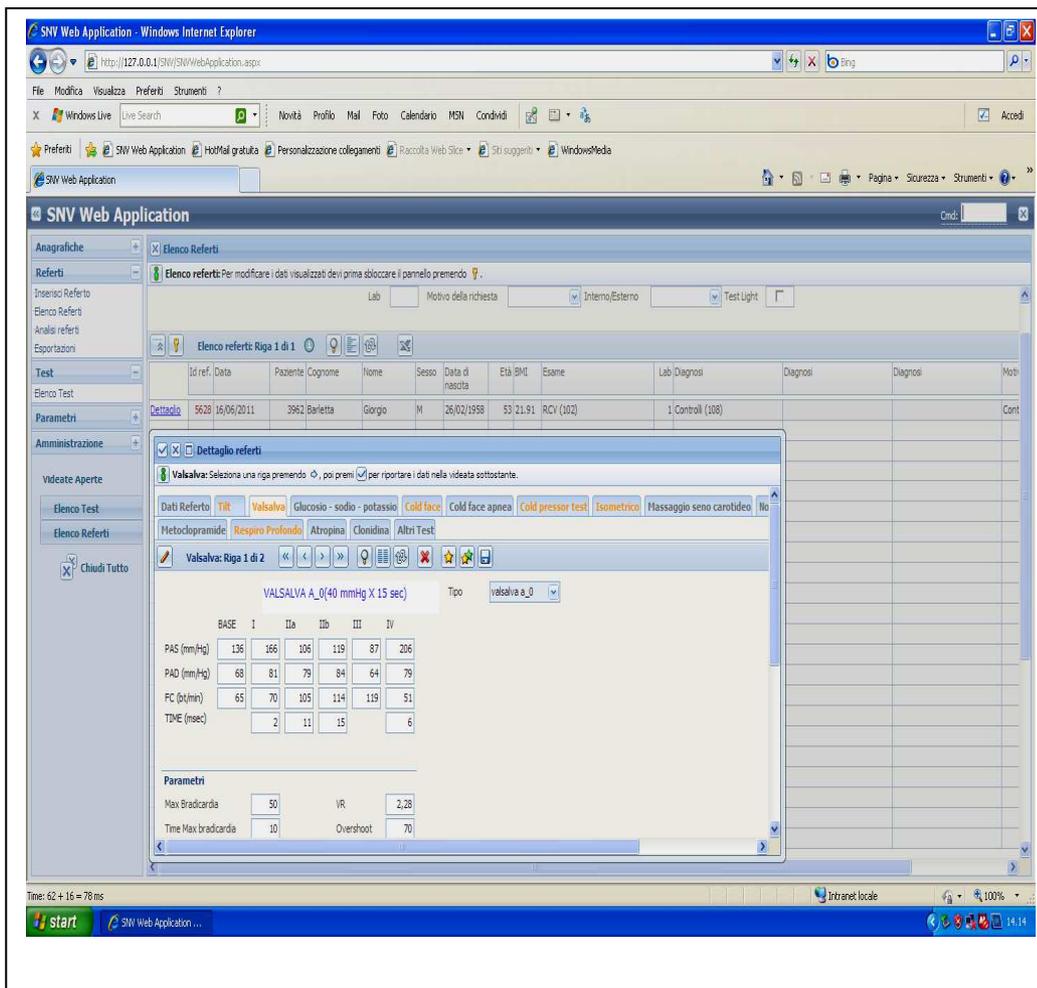


Fig. 3.3.

3.5. LIMITI DEL SISTEMA LIGHT IN FUNZIONE DELLE ESIGENZE DI LABORATORIO

Il sistema Light rappresenta dunque un'ottima soluzione per l'acquisizione e l'analisi di segnali neurofisiologici e cardiovascolari. Tuttavia, come ampiamente descritto nel paragrafo 2.4., ai fini di una corretta diagnosi è fondamentale disporre di un video del paziente sottoposto al test.

È stato dunque necessario effettuare una riprogettazione della strumentazione al fine di poter acquisire, in maniera perfettamente sincronizzata con i segnali, anche una traccia audio-video ad alta risoluzione.

Essa è stata effettuata integrando un modulo di acquisizione video Panasonic con unità di pilotaggio dedicata, reso possibile grazie alla modularità del sistema.

Questa riprogettazione riguardante sia la parte hardware che software, realizzata durante questo studio di tesi, sarà accuratamente argomentata nel prossimo capitolo.

CAPITOLO 4

RIPROGETTAZIONE DEL SISTEMA LIGHT

La riprogettazione del Sistema Light, è stata effettuata seguendo i seguenti step, riassunti nel diagramma a blocchi.

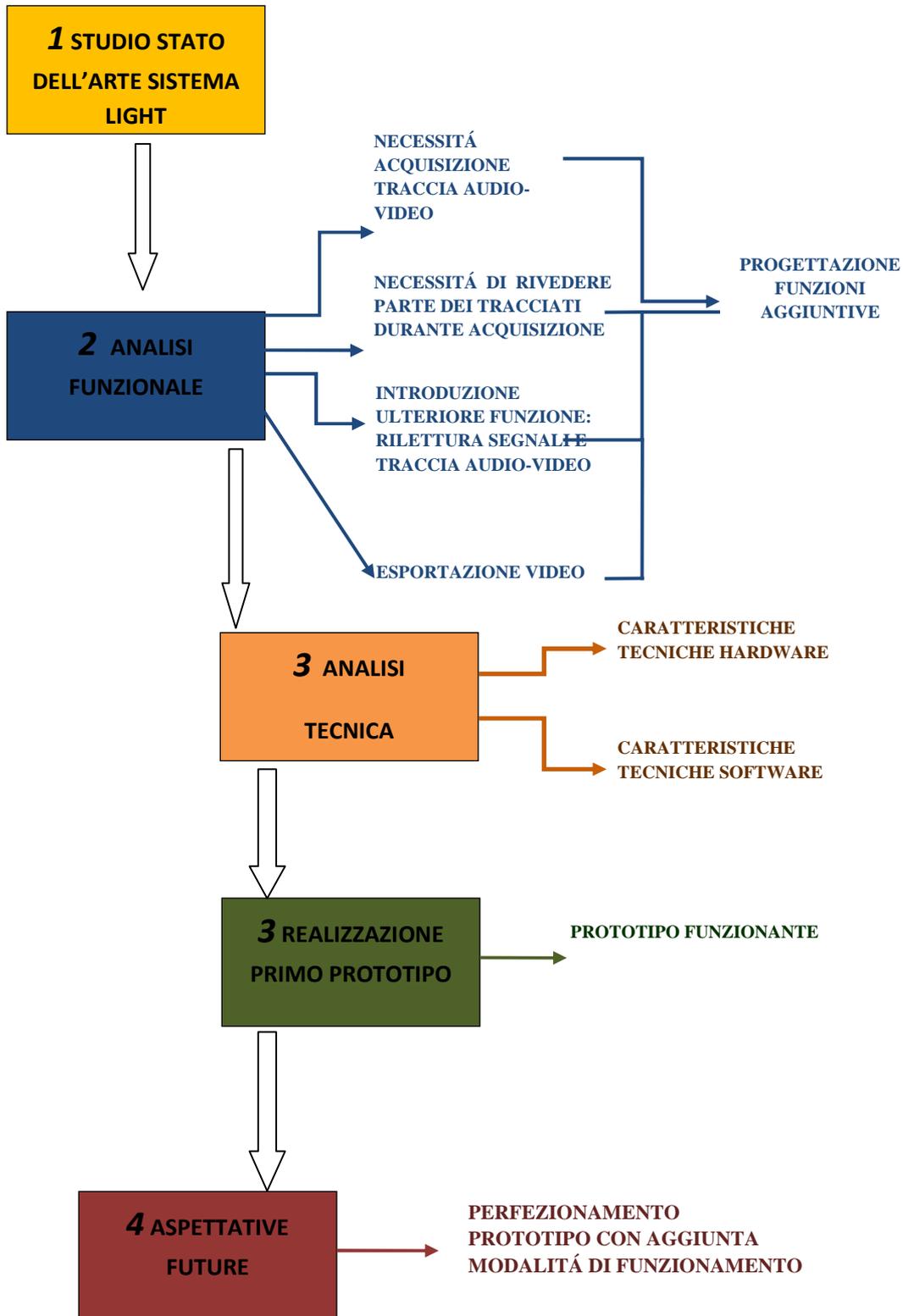


Fig. 4.1.

Lo studio dello stato dell'arte del sistema è stato trattato nel Capitolo 3. I passi successivi saranno dettagliatamente analizzati di seguito.

4.1. ANALISI FUNZIONALE

L'analisi funzionale è stata realizzata grazie alla collaborazione con la componente clinica del Laboratorio Neurovegetativo del Dipartimento di Scienze Biomediche e Neuromotorie dell'Università di Bologna.

In questa fase, sulla base dello studio delle strumentazioni in uso in laboratorio, dello stato dell'arte del sistema Light e delle esigenze mediche è stato possibile:

- individuare le problematiche delle strumentazioni in uso e i limiti del Light in relazione alle esigenze mediche;
- studiare soluzioni;
- progettare funzioni aggiuntive per la realizzazione del nuovo prototipo;

Quest'analisi ha portato a diversi risultati:

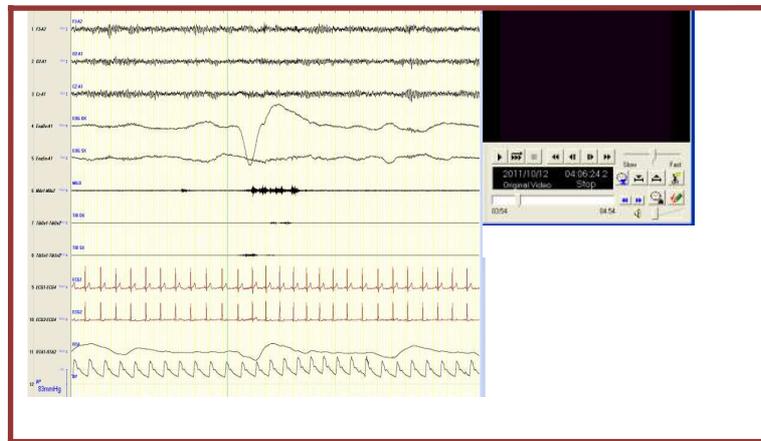
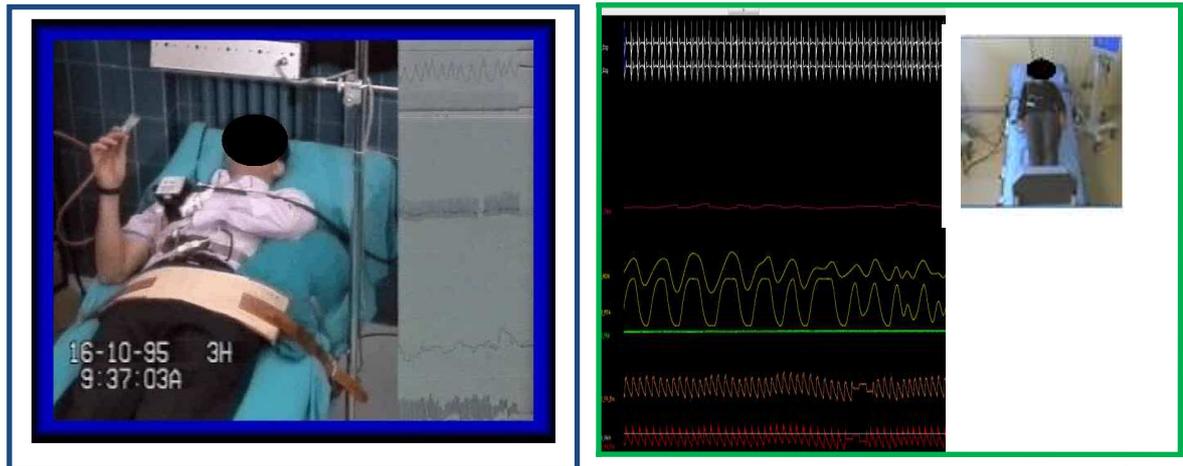
1) NECESSITÀ DI ACQUISIRE TRACCIA AUDIO-VIDEO AD ALTA RISOLUZIONE E PERFETTAMENTE SINCRONIZZATA CON I SEGNALI, per i motivi già ampiamente discussi nei capitoli precedenti. L'acquisizione video da utilizzare è quella standard: 25 frame al secondo;

2) NECESSITÀ DI RIVEDERE PARTE DEI TRACCIATI DURANTE ACQUISIZIONE, che nasce dall'utilizzo dei poligrafi analogici e dai tracciati stampati su carta. La sostituzione di questi con poligrafi digitali ha portato ad una inevitabile modifica della visualizzazione dei tracciati, che vengono disegnati su monitor in una finestra temporale riportante i tracciati acquisiti in tempo reale. Questo fa sì che man mano che si procede con l'acquisizione la parte di segnale registrata precedentemente non è più visibile. Ai fini della diagnosi questo rappresenta un grosso limite poiché, per rintracciare e valutare eventi anomali, è fondamentale effettuare un confronto tra il tracciato acquisito in tempo reale ed una parte di esso acquisito precedentemente.

3) NECESSITÀ DI RILEGGERE I SEGNALI E LA TRACCIA AUDIO-VIDEO. Successivamente all'acquisizione, per analizzare la sintomatologia è fondamentale avere la possibilità di riesaminare i tracciati ed il video in qualsiasi momento in modo tale da poter stabilire una correlazione tra sintomi e tracciato, guardando il video.

Per ottimizzare le prestazioni del nuovo prototipo Light e renderlo unico e competitivo nel proprio campo di applicazione, la funzione di revisione deve presentare più modalità di riproduzione/scansione dei segnali e del video per consentire all'operatore di utilizzare quella a lui più consona:

Fig. 4.2.



MODALITÀ DI RIPRODUZIONE	PENNINO FERMO - TRACCIATO MOBILE	TRACCIATO FERMO - CURSORE MOBILE	TRACCIATO MOBILE SENZA CURSORE
ESIGENZA	RIPRODUZIONE FEDELE ALLA POLGRAFIA ANALOGICA	RIPRODUZIONE SIMILE A QUELLA DEI POLIGRAFI DIGITALI GIÀ IN USO NEI LABORATORI	RIPRODUZIONE SIMILE A QUELLA UTILIZZATA DAL LIGHT STESSO IN ACQUISIZIONE

4) ESPORTAZIONE VIDEO. Il video del paziente può essere utile ai fini della ricerca e dello studio delle patologie e può essere utilizzato da ricercatori e medici come materiale per la didattica e da presentare durante i convegni. Si è pensato di:

- Creare un filmato in cui siano riprodotti i tracciati, il video del paziente e gli indici numerici delle grandezze rilevate. In tal modo è possibile mostrare in qualsiasi momento i risultati di un paziente sottoposto ad un test, senza la necessità di avere il software installato sul pc;
- Utilizzare un formato compatibile con i programmi di scrittura e presentazione. Pertanto, devono essere utilizzati anche dei formati alternativi all' AVI, il quale sembra non essere supportato da nuove versioni dei programmi di presentazione;
- Per il rispetto della privacy, il video esportato non deve contenere il nome del paziente all'interno della barra del titolo e deve essere possibile oscurare il viso o un tratto del paziente;

Inoltre, il video deve poter essere fornito al paziente che ne faccia richiesta e per questo deve essere esportabile in formato standard.

4.2. ANALISI TECNICA

Successivamente all'analisi funzionale è stata effettuata un'analisi tecnica per descrivere le specifiche di progetto e le modalità con cui tali funzioni aggiuntive sarebbero dovute essere realizzate.

È stato necessario definire sia le caratteristiche tecniche dell'hardware sia del software, necessarie all'ufficio tecnico della società per l'implementazione del codice.

4.2.1. CARATTERISTICHE TECNICHE HARDWARE

La riprogettazione dell'hardware del sistema Light riguarda l'aggiunta di un modulo di acquisizione video.

Al fine di ottenere un'acquisizione video quanto più fedele alle esigenze di laboratorio è stata scelta:

- 1) una telecamera PANASONIC con unità di pilotaggio dedicata. Si tratta di una telecamera Dome 360° day&night, con le seguenti caratteristiche:
 - a) risoluzione di 650 TVL a colori e 700 TVL in B/N;
 - c) una sensibilità di 0,5 lux a colori e 0,04 lux in B/N;
 - d) zoom digitale 10x;
- 2) la telecamera non è dotata di un microfono integrato, per la registrazione audio è stato utilizzato un microfono amplificato collegato all'ingresso audio del computer;
- 3) una scheda di acquisizione video MATROX modello Morphis 01-MOR/2VDE/84. Si tratta di una scheda professionale che ha la garanzia di essere facilmente reperibile sul mercato e che possiede una vasta libreria di funzioni software per l'acquisizione e la gestione delle immagini acquisite. Essa presenta le seguenti caratteristiche:
 - a) scheda su bus PCI-Express 1x dotata di due ingressi video analogici, porta seriale RS-485 e 16 megabytes di memoria a bordo dedicata alla cattura video;
 - b) presenta una serie di ingressi digitali, due dei quali configurabili come trigger;
 - c) possibilità di montare acceleratore per compressione JPEG2000;

Per poter sincronizzare l'acquisizione video a quella dei segnali, si è scelto di generare un segnale digitale di trigger attraverso il microprocessore presente nel modulo di acquisizione segnali e fornirlo in ingresso alla scheda Matrox attraverso la porta opportuna.

4.2.2. CARATTERISTICHE TECNICHE DEL SOFTWARE

- 1) **L' ACQUISIZIONE DELLA TRACCIA AUDIO-VIDEO** deve essere ottenuta con una compressione del video. Poiché un file video di alta qualità può arrivare ad una dimensione di svariati gigabytes ed una così vasta mole di dati richiederebbe computer con hardware avanzato e adeguato, deve essere utilizzato un algoritmo per la compressione del video.

La telecamera genera un segnale video che va in ingresso alla scheda di acquisizione MATROX.. La scheda campiona questo segnale analogico a 25 frame al secondo generando una serie di immagini che devono essere compresse. Esse devono poi essere memorizzate in un file AVI assieme all'audio campionato con il video.

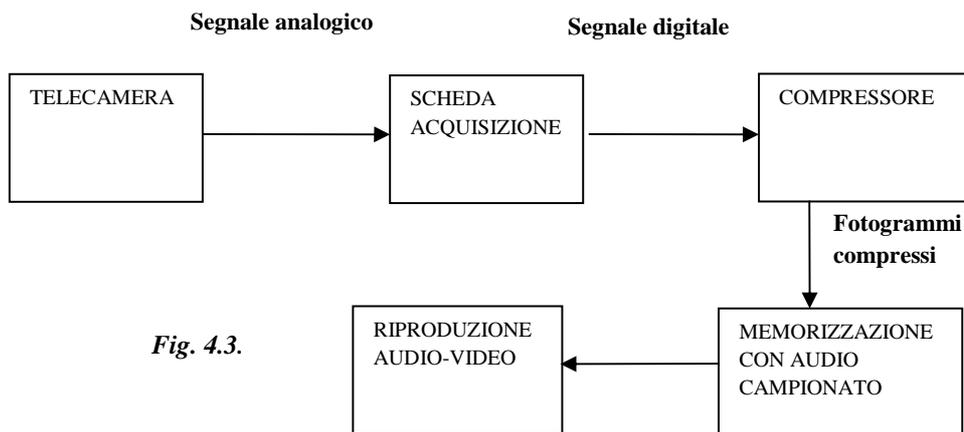


Fig. 4.3.

2) **PER AVERE LA POSSIBILITÀ DI RIVEDERE PARTE DEI TRACCIATI DURANTE L'ACQUISIZIONE** deve essere realizzata una finestra nella quale visualizzare parte dei tracciati acquisiti precedentemente, da affiancare alla finestra riportante i tracciati in tempo reale.

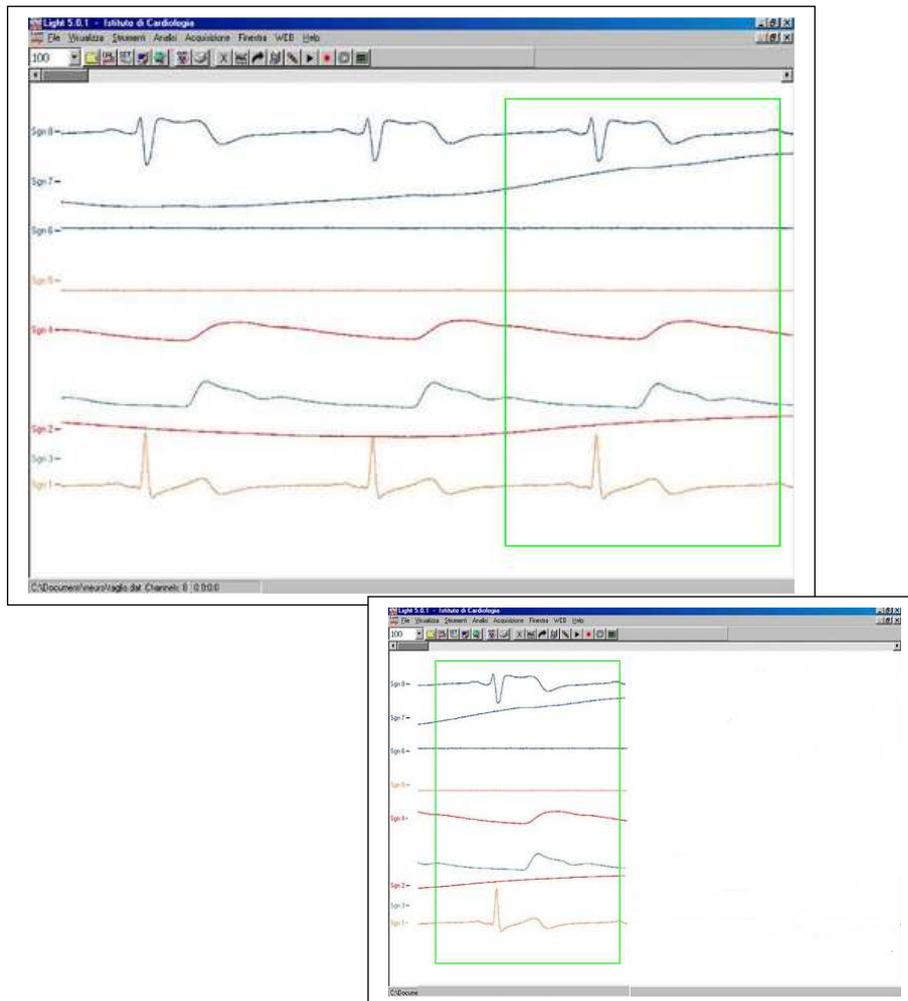


Fig. 4.4. (*In alto*) Finestra con tracciati in tempo reale. Nel rettangolo in verde sono evidenziati gli eventi patologici di interesse. (*In basso*) Finestra con parte del tracciato acquisito precedentemente.

3) **PER AVERE LA POSSIBILITÀ DI RILEGGERE I SEGNALI E LA TRACCIA AUDIO-VIDEO** deve essere realizzata una funzione, chiamata di riletture, da aggiungere alla funzione di acquisizione, già presente nel software Ligth.

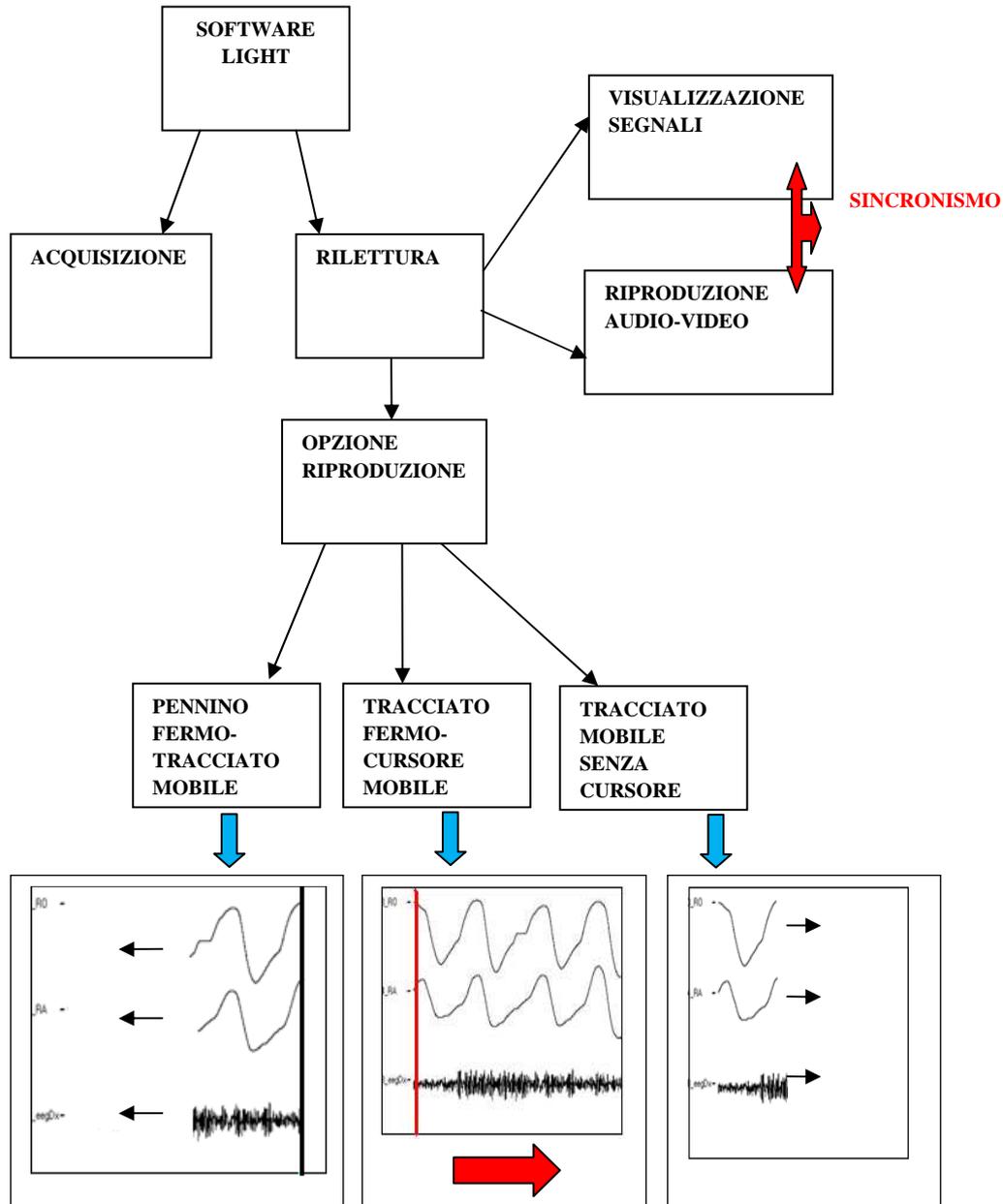


Fig. 4.5.

Quando viene utilizzata questa funzione, i tracciati ed il video devono essere visualizzati su due finestre separate, spostabili e disposte su due monitor differenti per una miglior visione globale.

Le due finestre di visualizzazione devono essere così costituite:

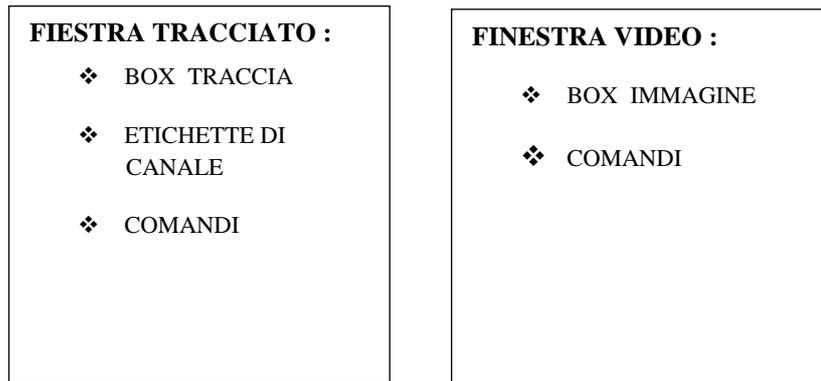


Fig. 4.6.

Tra tracciati e video deve esistere un sincronismo: selezionando un punto del tracciato, nella finestra video deve essere visualizzato il fotogramma corrispondente e viceversa.

Deve essere presente un'opzione selezionabile che mi consente di riprodurli, come se li stessi acquisendo, scegliendo tra le tre modalità di riproduzione/scansione differenti.

Le tre modalità, che differiscono per la maniera in cui i tracciati vengono visualizzati, devono essere realizzate soddisfacendo le caratteristiche riportate nella seguente tabella:

MODALITÀ DI RIPRODUZIONE	PENNINO FERMO - TRACCIATO MOBILE	TRACCIATO FERMO – CURSORE MOBILE	TRACCIATO MOBILE SENZA CURSORE
CARATTERISTICHE FINESTRA TRACCIATO	<ul style="list-style-type: none"> • PUNTO DI PARTENZA SEGNALATO DA CURSORE FERMO ALLA DESTRA DEL MONITOR E COINCIDENTE CON L'INIZIO DEL VIDEO • EFFETTUANDO IL REPLAY, IL TRACCIATO VIENE VISUALIZZATO E SCORRE DA DESTRA A SINISTRA, IN SINCRONISMO CON IL DISPLAY VIDEO E IL SEGNALE AUDIO • TRACCIATO DEVE POTER ESSERE BLOCCATO • PER IL REPLAY DA UN DETERMINATO ISTANTE È NECESSARIO INSERIRE UN MARKER SU QUEST'ULTIMO • VELOCITÀ DI RIPRODUZIONE LEGATA ALLA TIPOLOGIA DI EVENTO DA VISUALIZZARE. DUNQUE SCORRIMENTO TRACCIATO A VELOCITÀ IMPOSTABILE E CON AUDIO INTEGRATO • DE VONO ESSERE 	<ul style="list-style-type: none"> • PUNTO DI PARTENZA SEGNALATO DA CURSORE ALLA SINISTRA DEL MONITOR E SINCRONIZZATO CON VIDEO • EFFETTUANDO IL REPLAY, CURSORE DEVE SCORRERE LUNGO IL TRACCIATO, DA SINISTRA A DESTRA, CON CONTEMPORANEO SCORRIMENTO VIDEO. SINCRONISMO CON AUDIO • SCORRIMENTO CURSORE SU TRACCIATO DEVE POTER ESSERE BLOCCATO • BIUNIVOCITÀ TRA POSIZIONE CURSORE TRACCIATO E CURSORE VIDEO • VELOCITÀ DI RIPRODUZIONE LEGATA ALLA TIPOLOGIA DI EVENTO DA VISUALIZZARE. DUNQUE SCORRIMENTO TRACCIATO A VELOCITÀ IMPOSTABILE E CON AUDIO INTEGRATO • DE VONO ESSERE RIPORTATI 	<ul style="list-style-type: none"> • PUNTO DI PARTENZA POSIZIONATO ALLA SINISTRA DEL MONITOR E DEVE COINCIDERE CON INIZIO DEL VIDEO • EFFETTUANDO IL REPLAY, TRACCIATO SCORRE DA SINISTRA A DESTRA CON CONTEMPORANEO SCORRIMENTO VIDEO. FUNZIONALITÀ AUDIO INTEGRATA • TRACCIATO DEVE POTER ESSERE BLOCCATO • PER EFFETTUARE IL REPLAY DA UN DETERMINATO ISTANTE È NECESSARIO INSERIRE UN MARKER SU QUEST'ULTIMO • VELOCITÀ DI RIPRODUZIONE LEGATA ALLA TIPOLOGIA DI EVENTO DA VISUALIZZARE. DUNQUE SCORRIMENTO TRACCIATO A VELOCITÀ IMPOSTABILE E CON AUDIO INTEGRATO • DE VONO ESSERE

	RIPORTARTI VALORI NUMERICI DELLE GRANDEZZE RILEVATE <i>* TUTTE LE AZIONI PRESCINDONO DALLA COMPRESSIONE DEL VIDEO</i>	VALORI NUMERICI DELLE GRANDEZZE RILEVATE <i>* TUTTE LE AZIONI PRESCINDONO DALLA COMPRESSIONE DEL VIDEO</i>	RIPORTARTI VALORI NUMERICI DELLE GRANDEZZE RILEVATE <i>* TUTTE LE AZIONI PRESCINDONO DALLA COMPRESSIONE DEL VIDEO</i>
CARATTERISTICHE FINESTRA VIDEO	<ul style="list-style-type: none"> • PUNTO DI PARTENZA SEGNALATO DA CURSORE • EFFETTUANDO IL REPLAY, IL VIDEO VIENE RIPRODOTTO E DEVE POTER ESSERE BLOCCATO E MANDATO IN AVANTI O INDIETRO A VELOCITÀ IMPOSTABILE. FUNZIONALITÀ AUDIO INTEGRATA • PER SEGNALERE LA FINE DEL VIDEO E DEL TRACCIATO È NECESSARIO INSERIRE UN SEGNALE ACUSTICI O UN MESSAGGIO DI ERRORE • CORRISPONDENZA BIUNIVOCA TRA LE DUE FINESTRE PER IL SETTAGGIO PARAMETRI E GESTIONE COMANDI • OPZIONE CHE PERMETTE DI VISUALIZZARE 	<ul style="list-style-type: none"> • PUNTO DI PARTENZA SEGNALATO DA CURSORE • EFFETTUANDO IL REPLAY, IL VIDEO VIENE RIPRODOTTO E DEVE POTER ESSERE BLOCCATO E MANDATO IN AVANTI O INDIETRO A VELOCITÀ IMPOSTABILE. FUNZIONALITÀ AUDIO INTEGRATA • PER SEGNALERE LA FINE DEL VIDEO E DEL TRACCIATO È NECESSARIO INSERIRE UN SEGNALE ACUSTICI O UN MESSAGGIO DI ERRORE • CORRISPONDENZA BIUNIVOCA TRA LE DUE FINESTRE PER IL SETTAGGIO PARAMETRI E GESTIONE COMANDI • OPZIONE CHE PERMETTE DI VISUALIZZARE 	<ul style="list-style-type: none"> • PUNTO DI PARTENZA SEGNALATO DA CURSORE • EFFETTUANDO IL REPLAY, IL VIDEO VIENE RIPRODOTTO E DEVE POTER ESSERE BLOCCATO E MANDATO IN AVANTI O INDIETRO A VELOCITÀ IMPOSTABILE. FUNZIONALITÀ AUDIO INTEGRATA • PER SEGNALERE LA FINE DEL VIDEO E DEL TRACCIATO È NECESSARIO INSERIRE UN SEGNALE ACUSTICI O UN MESSAGGIO DI ERRORE • CORRISPONDENZA BIUNIVOCA TRA LE DUE FINESTRE PER IL SETTAGGIO PARAMETRI E GESTIONE COMANDI. • OPZIONE CHE PERMETTE DI VISUALIZZARE UN'IMMAGINE

	<p>UN'IMMAGINE DEL PAZIENTE ED UN PUNTO DEL TRACCIATO, IN UN DETERMINATO ISTANTE</p> <ul style="list-style-type: none"> • OPZIONE PER SEGNALARE ED ANNOTARE UN EVENTO • POSSIBILITÀ DI VISUALIZZARE TEMPO ASSOLUTO E RELATIVO • OPZIONE AUDIO REGOLABILE • DIMENSIONI FINESTRA REGOLABILI, CON POSSIBILITÀ DI EFFETTUARE ZOOM SU IMMAGINI • PER ISOLARE EVENTI SIGNIFICATIVI PER DIAGNOSI, OPZIONE PER RITAGLIARE SEQUENZE TRACCIATO E VIDEO CORRISPONDENTI ED ESSERE SALVATI IN NUOVI FILE. IL FILE ORIGINALE, INUTILIZZATO AI FINI DELLA DIAGNOSI, DEVE POTER ESSERE ARCHIVIATO CON OPZIONE DI ELIMINAZIONE VIDEO 	<p>UN'IMMAGINE DEL PAZIENTE ED UN PUNTO DEL TRACCIATO, IN UN DETERMINATO ISTANTE</p> <ul style="list-style-type: none"> • OPZIONE PER SEGNALARE ED ANNOTARE UN EVENTO • POSSIBILITÀ DI VISUALIZZARE TEMPO ASSOLUTO E RELATIVO • OPZIONE AUDIO REGOLABILE • DIMENSIONI FINESTRA REGOLABILI, CON POSSIBILITÀ DI EFFETTUARE ZOOM SU IMMAGINI • PER ISOLARE EVENTI SIGNIFICATIVI PER DIAGNOSI, OPZIONE PER RITAGLIARE SEQUENZE TRACCIATO E VIDEO CORRISPONDENTI ED ESSERE SALVATI IN NUOVI FILE. IL FILE ORIGINALE, INUTILIZZATO AI FINI DELLA DIAGNOSI, DEVE POTER ESSERE ARCHIVIATO CON OPZIONE DI ELIMINAZIONE VIDEO 	<p>DEL PAZIENTE ED UN PUNTO DEL TRACCIATO, IN UN DETERMINATO ISTANTE</p> <ul style="list-style-type: none"> • OPZIONE PER SEGNALARE ED ANNOTARE UN EVENTO • POSSIBILITÀ DI VISUALIZZARE TEMPO ASSOLUTO E RELATIVO • OPZIONE AUDIO REGOLABILE • DIMENSIONI FINESTRA REGOLABILI, CON POSSIBILITÀ DI EFFETTUARE ZOOM SU IMMAGINI • PER ISOLARE EVENTI SIGNIFICATIVI PER DIAGNOSI, OPZIONE PER RITAGLIARE SEQUENZE TRACCIATO E VIDEO CORRISPONDENTI ED ESSERE SALVATI IN NUOVI FILE. IL FILE ORIGINALE, INUTILIZZATO AI FINI DELLA DIAGNOSI, DEVE POTER ESSERE ARCHIVIATO CON OPZIONE DI ELIMINAZIONE VIDEO
--	--	--	--

4) PER AVERE LA POSSIBILITÀ DI ESPORTARE IL VIDEO, deve essere creato un file video che riproduce:

- Tracciati acquisiti
- Video del paziente acquisito
- Indici numerici delle grandezze rilevate

in tre zone differenti.

Il filmato che deve essere visualizzato deve presentare dunque la seguente struttura:

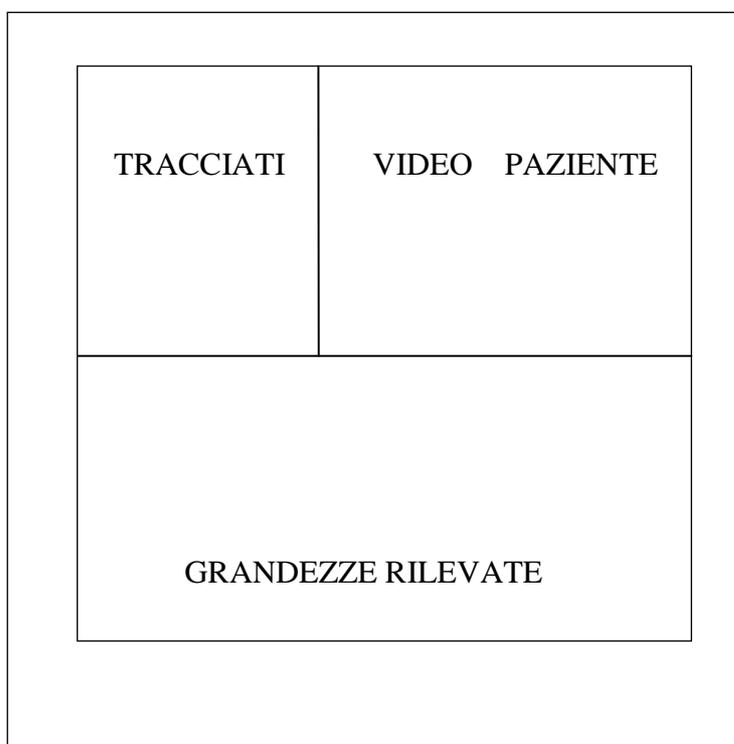


Fig. 4.7.

4.3. REALIZZAZIONE PROTOTIPO

Le specifiche di progetto descritte nell'analisi tecnica sono state necessarie all'ufficio tecnico della società per la scrittura del codice e per la realizzazione del prototipo.

La collaborazione con la componente tecnica in questa fase ha consentito di individuare e analizzare gli algoritmi ottimali per la realizzazione delle funzioni richieste.

4.3.1. ALGORITMI DI IMPLEMENTAZIONE

Il software è stato sviluppato con Visual Studio.net.

Per la compressione del video in acquisizione (**Punto 1**), il metodo di compressione utilizzato è MOTION JPEG, un compressore video nel quale ogni singolo frame del video viene compresso in un'immagine JPEG, formato di compressione con perdita delle informazioni. Con MOTION JPEG non vi è nessuna compressione interframe e questo fa sì che la qualità della compressione sia indipendente dal movimento presente nell'immagine, a differenza della compressione MPEG in cui la qualità diminuisce quando il video contiene parecchie sequenze di movimenti veloci.

Poiché non c'è compressione interframe, ogni singolo fotogramma compresso può essere estratto e memorizzato in un altro file senza dover essere decompresso e ricompresso. In tal modo risulta possibile estrarre pezzi di filmato senza dover ricomprimere e senza perdere in qualità.

Il video viene visualizzato su uno dei due monitor nella finestra video posizionabile in funzione delle esigenze con il mouse.

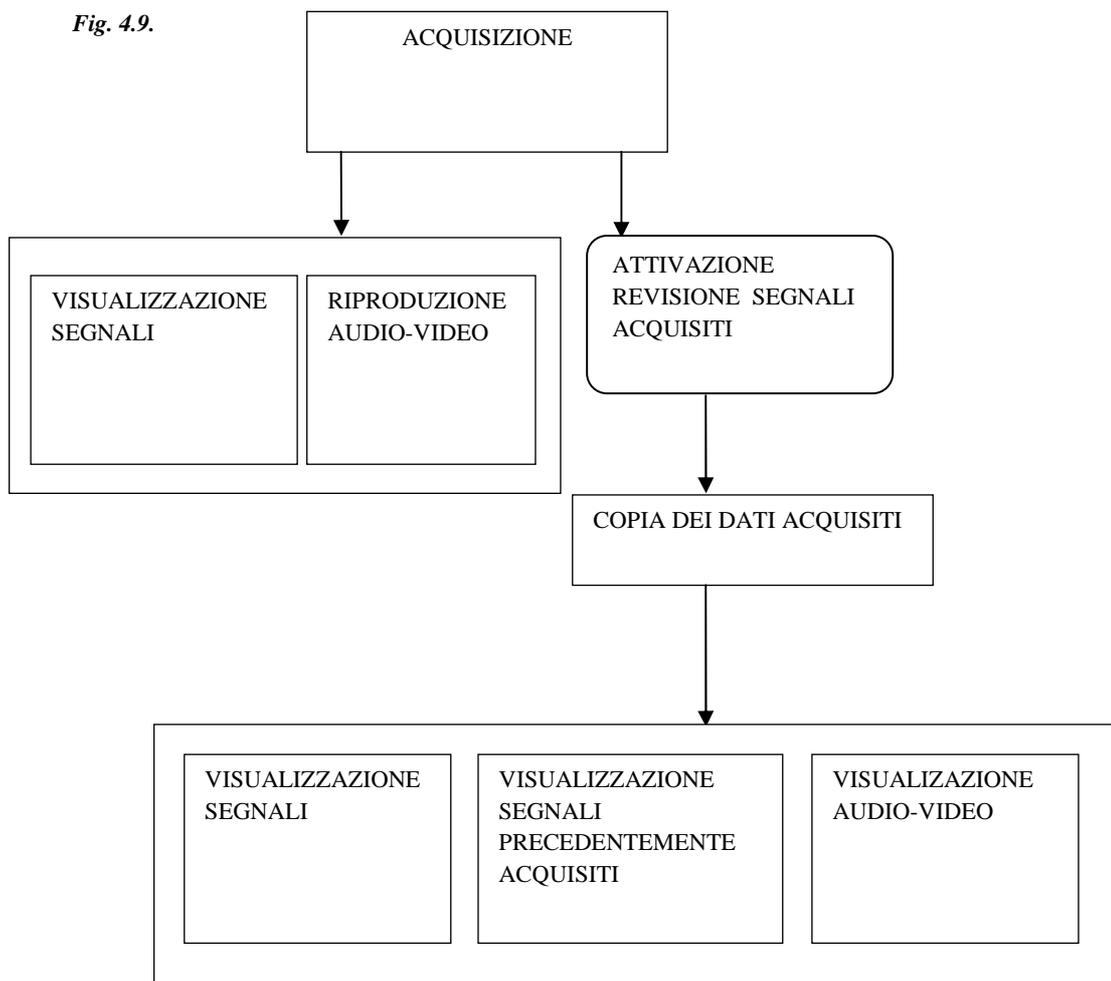


Fig. 4.8.

Per la visualizzazione di una parte dei segnali già acquisiti all'interno di una finestra (**Punto 2**), si è proceduto nel seguente modo:

in acquisizione, nel software Light può essere attivata una voce di menù per avviare la revisione di una parte dei segnali già acquisiti. Il software, allora, esegue una copia dei dati già acquisiti in un file temporaneo, legge il suo contenuto e lo grafica all'interno della finestra.

Fig. 4.9.



La funzione di riletture (**Punto 3**) consente di riesaminare tutte le registrazioni fatte. È stato utilizzato un algoritmo che fa sì che, quando viene selezionato un file d'interesse contenente i segnali acquisiti durante una registrazione, il software Light ne legga il contenuto, lo ridisegni e contemporaneamente apra il file contenente la traccia audio-video corrispondente.

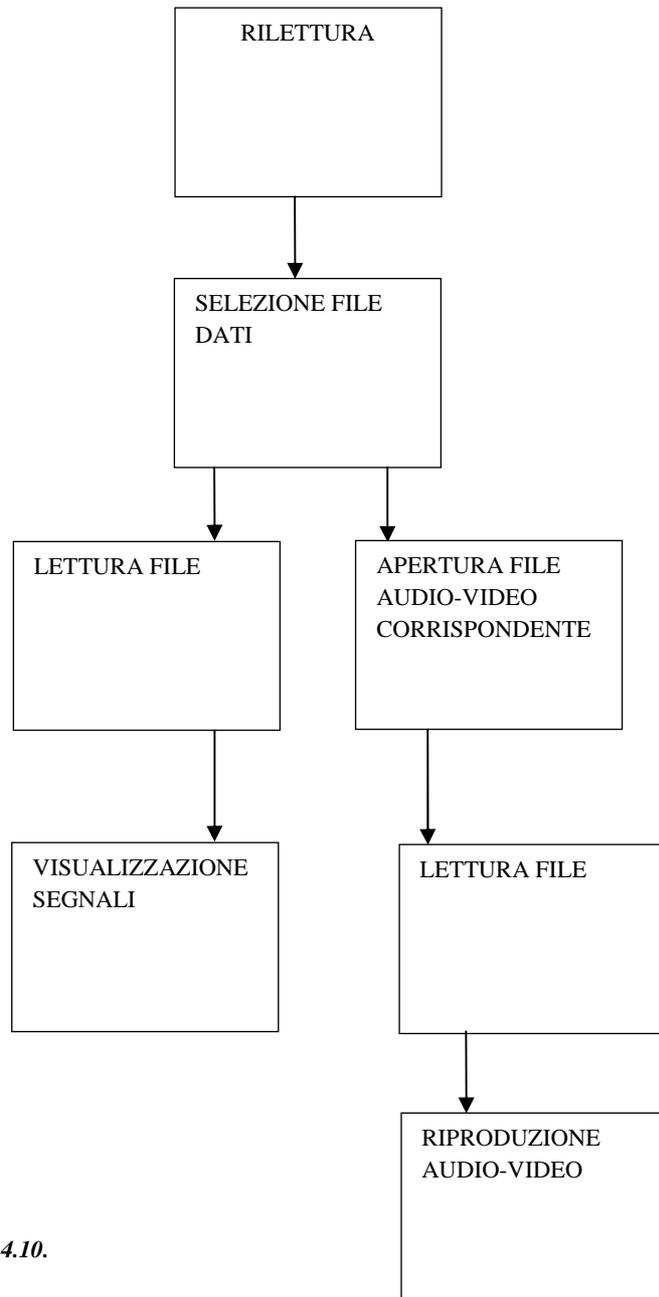


Fig. 4.10.

I tracciati fermi e l'immagine iniziale del video vengono visualizzati in due finestre separate così costituite:

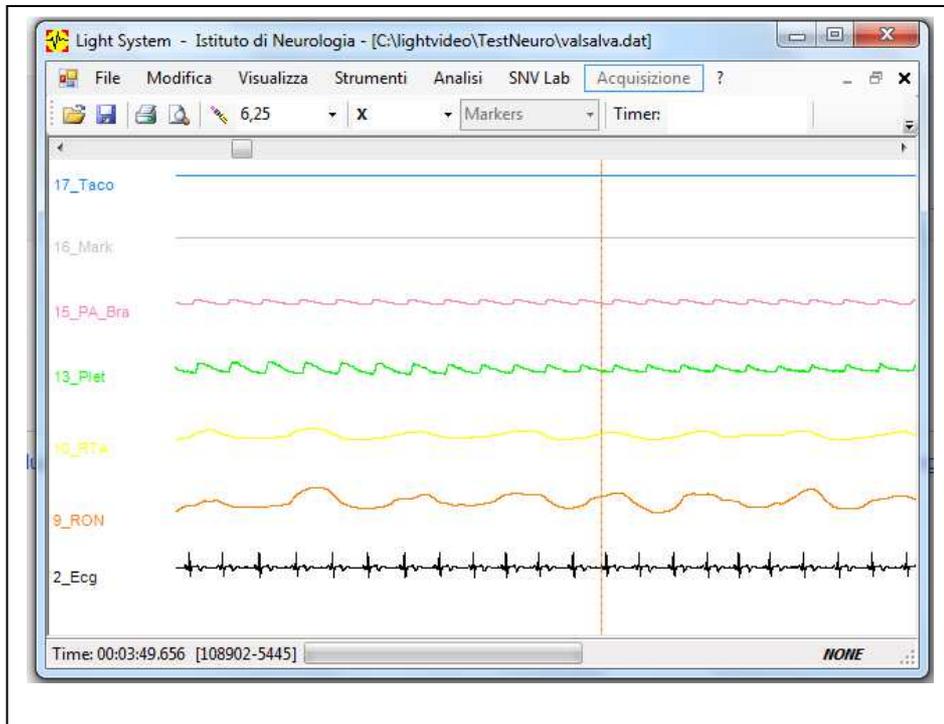


Fig. 4.11. a)

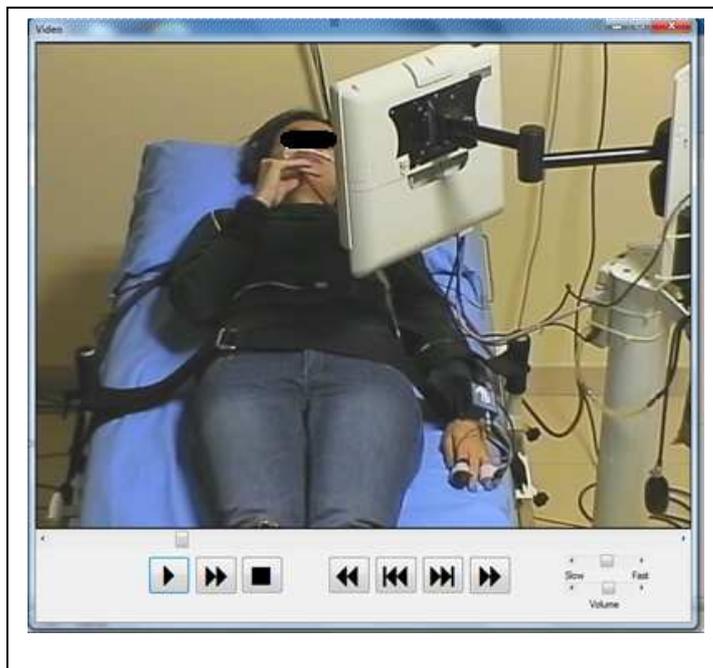


Fig. 4.11. b)

Selezionando con il mouse un qualsiasi punto del tracciato, nella finestra video viene visualizzata l'immagine corrispondente a quel punto.

Per realizzare questo sincronismo è stato utilizzato l'algoritmo di seguito descritto.

Quando viene selezionato un punto del tracciato, il software calcola l'istante di tempo corrispondente all'acquisizione selezionata con il mouse e, in base a questo tempo, sapendo che sono stati acquisiti 25 frame al secondo, individua il numero del fotogramma da visualizzare. Successivamente, con l'utilizzo di varie librerie di cui il software Light fa uso, tale fotogramma viene estratto e visualizzato nella finestra video.

Per la compressione/decompressione audio/video e la gestione di files in formato AVI viene utilizzata la libreria open-source "Libav" (www.libav.org) che ha una licenza che la rende utilizzabile in prodotti commerciali.

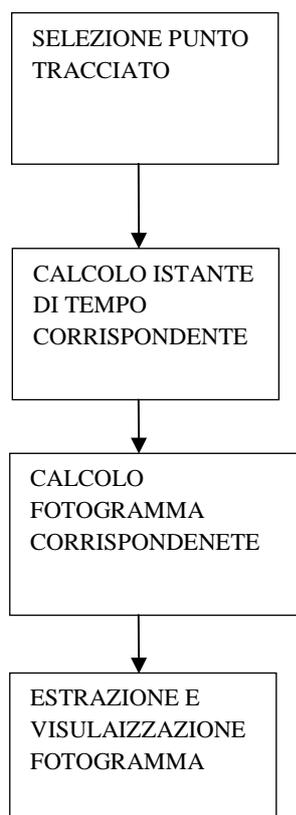


Fig. 4.12.

Dalla finestra tracciato, dalla barra degli strumenti, è possibile selezionare l'opzione **Replay** che consente di rileggere i tracciati e la traccia audio-video riproducendoli contemporaneamente in una modalità simile a quella utilizzata in acquisizione (modalità "tracciato mobile senza cursore"). Questa è l'unica modalità di scansione realizzata. L'algoritmo utilizzato è il seguente:

grazie all'utilizzo di librerie di cui il software Light fa uso, è possibile ottenere una riproduzione dell'audio. Quando l'audio viene riprodotto, il software ricava l'istante di tempo corrispondente al punto in cui è arrivata questa riproduzione e calcola il numero del fotogramma che deve essere visualizzato nel momento corrispondente; lo estrae e lo visualizza nella finestra video. In questo modo audio e video vengono riprodotti simultaneamente.

Contemporaneamente, il software comincia a disegnare in sequenza i segnali campionati.

Ogni volta che viene visualizzato un vettore di dati campionati, il software ricava l'istante di tempo in cui tale vettore è stato acquisito. Se tale istante è minore dell'istante di tempo in cui è arrivata la riproduzione audio, procede alla visualizzazione del vettore successivo, se invece è maggiore, aspetta che l'istante di tempo in cui è arrivata la riproduzione audio diventi maggiore di esso per poi procedere con la visualizzazione del vettore successivo.

L'effetto finale è quello di avere un sincronismo tra la visualizzazione dei segnali e la riproduzione della traccia audio-video.

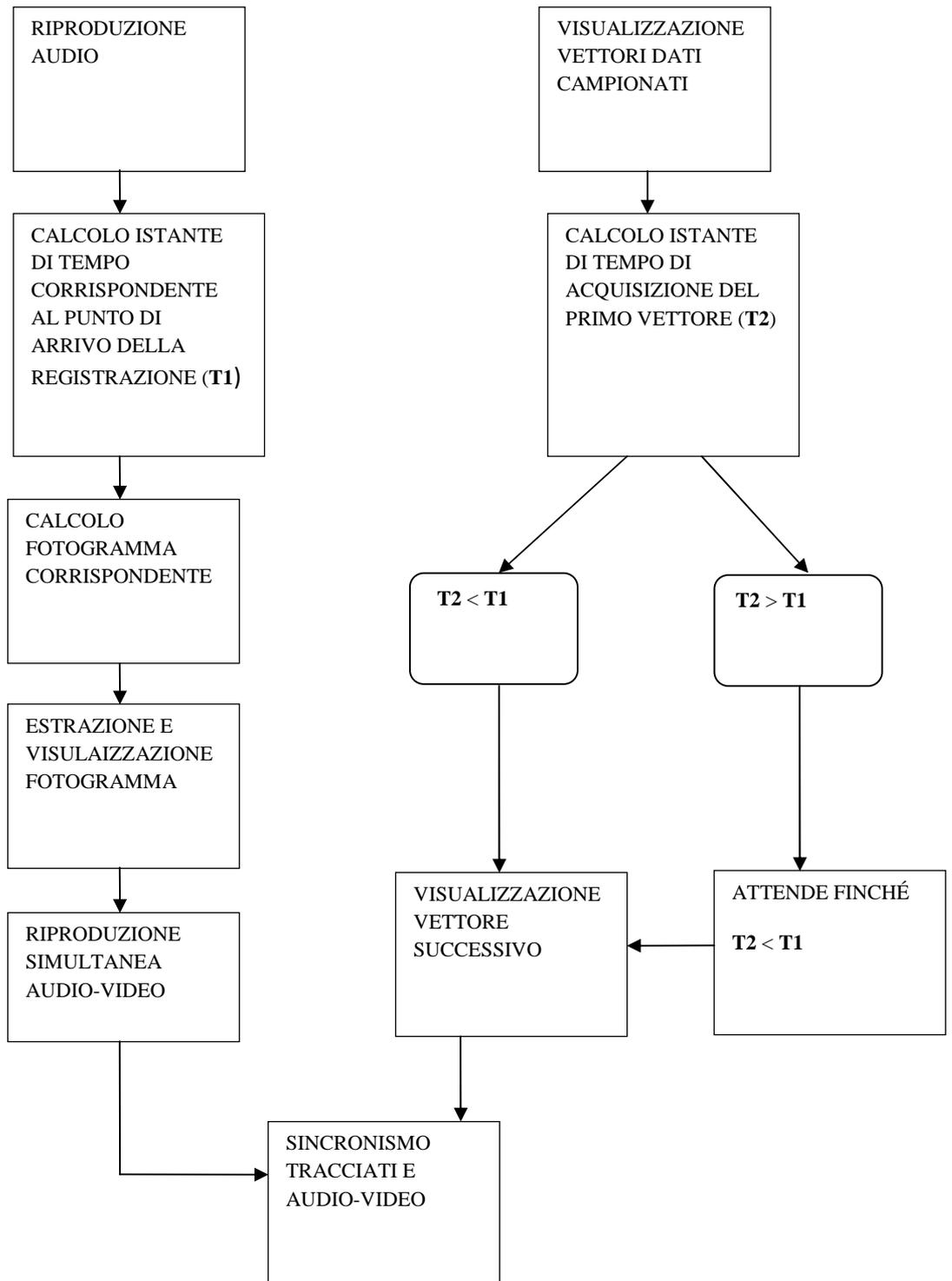


Fig. 4.13.

Oltre al Replay è stato realizzato lo **Stop Replay** con il quale il software ritorna nella modalità standard di funzionamento: tracciati interi e video fermo al fotogramma corrispondente all'istante di stop.

Per quel che riguarda l'esportazione del video (**punto 4**), alla quale l'ufficio della società sta tuttora lavorando, la procedura che si sta utilizzando è la seguente:

ogni fotogramma del file da creare viene suddiviso in tre zone (tracciati, video, grandezze rilevate). Per ognuno di questi fotogrammi, viene preso il fotogramma nel file video acquisito durante la registrazione e lo si disegna nella zona ad esso dedicata. Successivamente, viene preso il campione nel file dati, acquisito anch'esso durante la registrazione, e corrispondente al fotogramma del video, assieme agli n campioni precedenti (con n calcolato in base alla porzione di tracciati che si sceglie di riprodurre).

Per calcolare gli indici numerici delle grandezze rilevate, si guarda l'istante di tempo del fotogramma corrente e si calcola il valore che le grandezze assumono in quel preciso istante.

In tal modo si ottiene un file che riproduce il video e i tracciati che erano stati registrati nella fase di acquisizione con l'aggiunta dei valori numerici delle grandezze rilevate.

4.4. VERIFICA E VALIDAZIONE

Durante la fase di validazione, realizzata in laboratorio, si è visto che nelle acquisizioni di durata superiore alle due ore, verso la fine della registrazione, il video ed i segnali non sono più sincronizzati.

A tal proposito, sono state fatte delle indagini e quello che è emerso è che la frequenza con cui vengono campionati i segnali non è esattamente di 500 Hz o 1000 Hz.

Questo accade perché il sistema tenta di generare una frequenza di campionamento pari ad esempio a 1000 Hz, partendo da un clock a 14745600 MHz e utilizzando un divisore di frequenza intero.

Tuttavia, data la frequenza di clock pari a 14745600 MHz, non esiste un divisore intero tale che il rapporto tra tale frequenza e questo divisore sia esattamente uguale a 1000 Hz.

$$14745600/14745,6 = 1000$$

Per questo motivo viene utilizzato un divisore che non è esattamente quello di cui si ha bisogno, ma è l'intero approssimato per difetto o per eccesso. La frequenza di campionamento risultante assumerà dunque un valore di poco superiore o di poco inferiore a 1000.

$$14745600/14745 = 1000,040691$$

$$14745600/14746 = 999,972839$$

Questo meccanismo determina dunque una perdita del sincronismo.

Per risolvere questo problema sono state ideate soluzioni alternative:

- Aggiungere o togliere dei campioni durante l'acquisizione;
- Salvare, assieme ai dati campionati alla frequenza di campionamento effettiva, un parametro che rappresenta la frequenza di campionamento reale che permette di effettuare i necessari aggiustamenti in fase di riletture;
- Sapendo come funziona il microprocessore del Light, avere un pin dedicato all'ingresso di un segnale che scandisce la temporizzazione e che indica l'istante di tempo in cui cominciare ad acquisire;

L'ufficio tecnico della società sta lavorando per risolvere questo problema, valutando quale delle soluzioni proposte sia quella ottimale.

CONCLUSIONI E ASPETTATIVE FUTURE

Il prototipo realizzato è un sistema funzionante, in grado di soddisfare le esigenze basilari dello staff medico, e allo stato attuale già utilizzabile nel Laboratorio Neurovegetativo dell'Università di Bologna.

Infatti, poiché in questo laboratorio il sistema Light sostituirà definitivamente il vecchio poligrafo analogico, questo primo prototipo è stato realizzato dando precedenza all'implementazione delle funzioni più importanti.

In particolare, il suo utilizzo permette di:

- Acquisire, in sincronismo con i segnali, una traccia audio-video ad alta risoluzione;
- Rivedere parte dei tracciati in acquisizione;
- Riesaminare i segnali e la traccia audio-video con la possibilità di riprodurli con la modalità di scansione “tracciato mobile senza cursore”;

Il sistema, già pronto per il collaudo, sarà presentato ad un congresso che si terrà all'Ospedale Bellaria di Bologna in febbraio.

Poiché il sistema Light nasce come una strumentazione unica e competitiva nel proprio campo di applicazione, l'intento è quello di perfezionare tale prototipo

- a) portandolo a soddisfare buona parte dei requisiti riportati nell'analisi funzionale
- b) implementando le funzioni non ancora attive definite nell'analisi tecnica;

In particolare, l'idea è quella di:

- terminare la fase relativa all'esportazione del video del paziente in modo tale da poter ottenere, senza la necessità di installare il software, il filmato in cui vengono riprodotti il video del paziente, i segnali e i valori numerici delle grandezze rilevate. Esso può così essere utilizzato come materiale per la didattica e la ricerca.
- esportare il video in formato standard, in modo tale da poterlo fornire ai pazienti che ne facciano richiesta. Lo standard che definisce i criteri per la comunicazione, la visualizzazione, l'archiviazione e la stampa di informazioni di tipo biomedico è il DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine), standard pubblico che consente di avere una solida base di interscambio di informazioni tra apparecchiature di diversi produttori, server e PC;
- sviluppare almeno un'altra modalità di riproduzione dei segnali e della traccia audio video, dando la precedenza alla rappresentazione "pennino fermo-tracciato mobile" per consentire all'operatore, abituato all'utilizzo del poligrafo analogico, di avere una visualizzazione più familiare.
- Procedere con l'implementazione di tutte le funzioni non ancora attive;

BIBLIOGRAFIA

[1] GUYTON A.C. , Neuroscienze. Basi di neuroanatomia e neurofisiologia, Piccin Nuova Libreria, II edizione 1996;

[2] The Polygraph and Lie detection (2003), Committe to Review the Scientific Evidence on the Polygraph, national Researce Council;

[3] M.L.Zampagni, I. Corazza, A. Paladini Molgora, M. Marcacci.
Can ankle imbalance be a risk factor for tensor fascia lata muscle weakness?
J Electromyography and Kinesiology 2008;

[4] P. Maietta Latessa, I. Corazza, C. Ravaioli,S. Zannoli, R.Zannoli, C.Tentoni. (2007). /Performance monitoring during isotonic leg training and analysis of movement//.// SPORT SCIENCES FOR HEALTH. vol. 2(2), pp. 55 - 57.//;

[5] Ivan Corazza, Matteo Botteghi, Corinna Terenziani, Sebastiano Zannoli, Pasqualino Maietta Latessa, Claudio Tentoni
Simultaneous acquisition of signals and images: applications in sports medicine and neurology
Journal of Mechanics in Medicine and Biology, 2005.5(4):485-491;

[6] Ivan Corazza, Elena Caroli, Sebastiano Zannoli, Romano Zannoli, Pasqualino Maietta Latessa, Claudio Tentoni.
Evaluation of the maximal theoretical force exerted by the legs, with an isotonic leg extension machine.
Journal of Mechanics in Medicine and Biology, 2005. 5(4): 549-555;

[7] R. Zannoli, I. Corazza, A. Branzi, P.L. Rossi.

Aortoventricular mechanical matching: simulation of normal and pathological conditions

JMMB 2008; 8(1): 109-120;

[8] R. Zannoli, I. Corazza, A. Branzi.

Mechanical simulator of the cardiovascular system.

Physica Medica 2009; 25: 94-100;

[9] Zannoli R, Corazza I, Cremonesi A, Branzi A.

A mechanical device for aortic compliance modulation: In vitro simulation of aortic dissection treatment

J Biomech 2007;40(14):3089-95;

[10] Ivan Corazza, Laura Fabbiani, Laura Marras, Matteo Mariselli, Filippo Marangoni and Romano Zannoli

The Arterial Pressure Auscultatory Method: New Approach for Better Cardiology Teaching

High Blood Press Cardiovasc Prev 2006; 13 (4): 179-183**;

[11] R. Zannoli, I. Corazza, P.Cacciafesta,, A. Branzi.

Evaluating the mechanical behaviour of a ventricular simulator;

[12] Cortelli P, Guaraldi P, Leone M, Pierangeli G, Barletta G, Grimaldi D, Cevoli S, Bussone G, Baruzzi A, Montagna P

Effect of deep brain stimulation of the posterior hypothalamic area on the cardiovascular system in chronic cluster headache patients.

Eur J Neurol. 2007 Sep;14(9):1008-15;

[13] F Palleri, I Corazza, E Marcelli, L Cercenelli, A Branzi, R Zannoli

Is "Silent Ischemia" Detectable by Endocardial Pacemaker Leads?

Computers in Cardiology, 2008 Digital Object Identifier:

10.1109/CIC.2008.4749065 Publication Year: 2008 , Page(s): 409 – 412;

[14] Fisiologia. Curatori: Robert M. Berne, Matthew N. Levy; Bruce M. Koeppen, Bruce A. Stanton; edizione italiana a cura di Tullio Manzoni e Fiorenzo Conti. -5. Ed Milano: CEA, 2005;

[15] Laboratorio Neurovegetativo del Dipartimento di Scienze Biomediche e Neuromotorie dell' Università di Bologna;

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio sentitamente il Prof. Mauro Ursino per avermi proposto questo interessante lavoro di tesi, per avermi dato la possibilità di svolgerlo e per la sua grande disponibilità.

Ringrazio Sebastiano Zannoli della Spark srl e l'ufficio tecnico della società per avermi offerto l'opportunità di svolgere la mia prima esperienza in azienda, permettendomi così di mettere in pratica quanto studiato in questi anni.

Ringrazio la componente clinica del Laboratorio Neurovegetativo del Dipartimento di Scienze Biomediche e Neuromotorie dell'Università di Bologna per la loro immensa disponibilità e per l'attenzione che hanno sempre rivolto ai miei quesiti.

Un ringraziamento speciale, ed anche il più grande, va a mia madre, mio padre e ai miei fratelli che hanno sempre creduto in me e che mi sono sempre stati accanto in questi anni, condividendo le mie scelte e dandomi tutto sostegno morale di cui avevo bisogno.

Un grazie di cuore a chi ha condiviso e vissuto con me questo impegnativo ma splendido percorso e che ha saputo regalarmi la leggerezza e la grinta per vivere al meglio ogni nuova esperienza.

