- Copyright - Il Pensiero Scientifico Editore downloaded by IP 216.73.216.135 Tue, 08 Jul 2025, 12:04:11

Management e qualità

Teleconsulto in ecocardiografia con cavo telefonico standard in HDSL

Antonio Mantero[1], Emanuele Catena[2], Giuseppe Tarelli[2], Daniela Torta[1], Paolo Barbier[3], Elena Pedroncelli[1], Roberto Begnis[4], Danilo Tappia[4], Federico Lombardi[1], Ettore Vitali[2]

[1]Laboratorio di Ecografia Cardiovascolare, U.O. di Cardiologia, Azienda Ospedaliera San Paolo, Dipartimento di Medicina, Chirurgia e Odontoiatria, Università degli Studi, Milano,
[2]Dipartimento Cardio-Toraco-Vascolare "A. De Gasperis", Azienda Ospedaliera Niguarda Ca' Granda, Milano,
[3]Centro Cardiologico Fondazione Monzino, IRCCS, Milano, [4]Aloka Italia, Assago (MI)

Key words:
Echocardiography; Teleconsultation; Telephone cable.

Background. **Teleconsultation in echocardiography is complex owing to the heavy images and video files to be exchanged; moreover standards for data acquisition still need to be defined. The aim of this experience was to verify the feasibility to connect two laboratories for teleconsulting using a standard HDSL telephone cable.**

Methods. **Hardware included one echocardiograph, one PC, video aquisition board and network board, USB webcam, Network router and an HDSL line for data communication. Software includes MS Windows XP and Netmeeting. The live interactivity between the labs was granted by a video streaming in MPEG4 format, directly delivered by the PC communication software. Standard DICOM was used for formal aspects. The platform has been verified during a demo at "National Congress of Cardiovascular Echography" in 2005.**

Results. **The experiment survey collected at the Teleconference gave a consistently good result. Twenty-one subjects filled in the questionnaire: 12 of them (57%) reported a difference between the video streaming and DICOM; whereas 7 of them (33%) did not point out it. Overall findings have been positive, even though 15 members (71%) reported feasibility with some difficulties; 18 members (86%) reported the possibility of really using this technology in the future. The total cost was 145 000 €.**

Conclusions. **In our opinion, overall cost is more than acceptable especially considering how often to send data is more convenient than moving sick people or consultants.**

(G Ital Cardiol 2007; 8 (3): 168-175)

© 2007 AIM Publishing Srl

Ricevuto il 5 dicembre 2007; accettato il 23 gennaio 2007.

Per la corrispondenza:

Dr. Antonio Mantero

Piazza Giulio Cesare, 7
20145 Milano
E-mail:
mantero.antonio@fastwebnet.it

Introduzione

Con il termine telemedicina si identificano numerose attività a distanza che si avvalgono della telematica applicata alla medicina. Tra queste, alcune si configurano come attività culturali o servizi (ad esempio, la possibilità di valutare a distanza cartelle cliniche), altre si configurano come vere e proprie attività cliniche: il monitoraggio di patologie croniche, i servizi ambulatoriali remoti e il teleconsulto[1-18].

In campo ecocardiografico il teleconsulto è stato già realizzato in ecocardiografia, a partire dalla metà del decennio scorso all'interno di una stessa azienda[19,20]. In seguito, sono state segnalate altre esperienze con l'uso di una o più linee ISDN[21-24]. Nella prima metà di questo decennio è stato sperimentato con successo anche l'invio con la comunicazione satellitare[25,26].

In letteratura sono comparsi molti contributi inerenti allo screening neonatale o all'ecocardiografia pediatrica[21-24,27-30]. Nell'ambito dell'ecocardiografia dell'adulto i contributi attualmente disponibili in letteratura sono ancora scarsi[19,20,25,26].

Lo scopo di questa esperienza è di verificare se sia possibile realizzare un teleconsulto in ecocardiografia, di tipo interattivo e "clinico", collegando in teleconferenza due laboratori con diversi livelli di competenza, servendoci del normale cavo telefonico, un mezzo che ha il vantaggio della diffusione capillare nel nostro paese.

Materiali e metodi

Hardware

Il sistema prevede per ogni laboratorio l'impiego di un ecocardiografo (nella nostra esperienza Aloka modello SSD 5500) e un modulo per il teleconsulto. L'ecocardiografo è ovviamente indispensabile per il centro che richiede la teleconsulenza ed è invece facoltativo per il centro "esperto" che può utilizzare anche un semplice PC. Il

- Copyright - Il Pensiero Scientifico Editore downloaded by IP 216.73.216.135 Tue, 08 Jul 2025, 12:04:11

modulo per il teleconsulto comprende un PC di alto profilo, con processore Pentium 4 (o superiore), una memoria di sistema RAM di 1 Gbyte, un hard disk di grande capacità (200 Gbyte) e una scheda di acquisizione video che permette la conversione da PAL a *streaming*. Completano la configurazione hardware una scheda di rete Ethernet, una webcam USB e un router[31]. Per la trasmissione dei segnali fuori dalle aziende è stata utilizzata la linea HDSL che, come è noto, utilizza il cavo telefonico standard per la trasmissione dei dati (Figura 1).

La modalità di collegamento negli ultimi metri è stata diversa nei due ospedali coinvolti. Nel caso dell'Azienda San Paolo è stato utilizzato un cavo telefonico *ad hoc* fino alla stanza ove avveniva il teleconsulto. Nel caso dell'Azienda Ospedaliera Ca' Granda è stata, invece, utilizzata la rete LAN interna dell'Azienda. Il sistema è stato interfacciato con l'impiego di uno *switch* Ethernet[31].

Software

È stato scelto il sistema operativo Windows XP[32]. Per l'audioconferenza è stato scelto il sistema NetMeeting[33]. Per la conversione da PAL a *streaming* è stato scelto il codec MPEG 4 con matrice di 720 x 576 pixel[34-36]. Per lo *streaming* è stato utilizzato il software esistente sul PC. Per il calcolo e la refertazione è stato impiegato lo standard DICOM[37,38].

Operatività del teleconsulto

Il nostro sistema prevede la richiesta del teleconsulto da parte del centro "meno esperto" e la necessità di fissare un appuntamento con il centro "esperto" di riferimento. La definizione di questi due ruoli è legata al problema clinico e alle competenze degli operatori. Il sistema può essere facilmente reso bidirezionale se le competenze degli attori sono diversificate e se sono disponibili in entrambe le postazioni gli ecocardiografi e il modulo per il teleconsulto.

Nella nostra dimostrazione la sala congressuale simulava il ruolo di centro "esperto" e le due Aziende il ruolo di centro "inesperto" (Figura 1). La sessione è iniziata con un collegamento voce e video, mediante il quale il centro "inesperto" ha descritto il problema clinico del paziente e le difficoltà tecniche incontrate nell'esecuzione dell'esame ecocardiografico. Subito dopo è avvenuto l'invio delle clip, in formato DICOM, registrate in occasione dell'esame preliminare che ha determinato la necessità clinica del consulto. L'operatore esperto ha valutato il materiale e ha richiesto un approfondimento "in diretta" con acquisizione di altre sezioni.

L'operatore "inesperto", utilizzando la compressione e lo *streaming* ("streaming video"), ha quindi iniziato l'esame facendo condividere all'operatore remoto "esperto" le immagini in movimento in tempo reale. In questo modo è stato possibile allargare le modalità della consulenza anche alla assistenza nella ricerca della sezione richiesta. Una volta identificata la sezione corretta, con una richiesta vocale da parte dell'esperto, è stata registrata una clip in DICOM. L'operazione è stata ripetuta fino a quando il centro "esperto" ha avuto la sicurezza di aver acquisito l'insieme delle clip che costituiscono l'esame ecocardiografico completo. A questo punto è stato brevemente discusso il caso. A questa fase può essere fatta seguire quella della refertazione congiunta o, nel caso in cui nel centro inesperto vi sia un tecnico, la refertazione remota.

Verifica

Questo sistema è stato verificato con una dimostrazione al Congresso Nazionale di Ecografia Cardiovascolare del 2005 durante la quale sono stati presentati tre casi clinici che sono stati discussi in sala e valutati da una ristretta platea di cardiologi ecocardiografisti. I casi clinici erano insufficienza mitralica severa da rottura di corda tendinea, prolasso valvolare mitralico, rivascolarizzazione miocardica e correzione di insufficienza mitralica ischemica.

È stata prevista una visione della teleconsulenza su monitor ad alta risoluzione per i moderatori che simulavano la funzione di centro "esperto" e sullo schermo

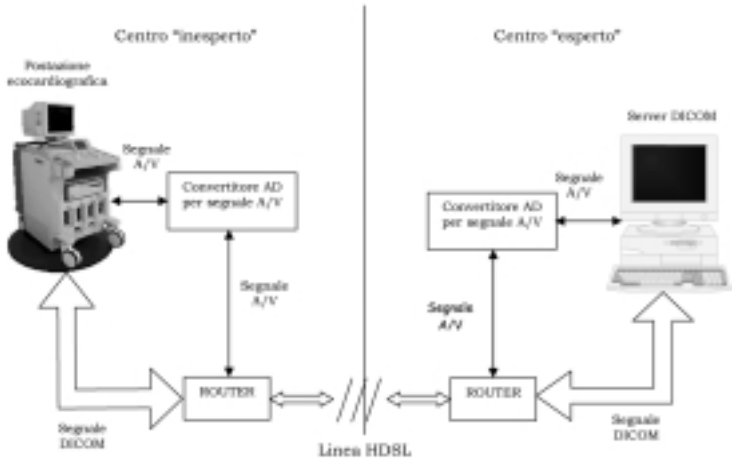

Figura 1. *Architettura del sistema.*

- Copyright - Il Pensiero Scientifico Editore downloaded by IP 216.73.216.135 Tue, 08 Jul 2025, 12:04:11

dell'aula per i partecipanti alla dimostrazione. Ad ognuno di questi, all'ingresso dell'aula, era stata consegnata una scheda con le modalità di trasmissione e un questionario di valutazione. La scheda conteneva le informazioni utili per identificare sempre le sequenze in DICOM e le sequenze in *streaming* (Figura 2). Il questionario di valutazione prevedeva poche domande per valutare la percezione della qualità dei media impiegati, la fattibilità del teleconsulto e il giudizio sull'esigenza di teleconsulto nella realtà operativa del partecipante (Figura 3).

Prima dell'inizio della dimostrazione un ingegnere elettronico biomedico ha brevemente illustrato l'architettura e la filosofia del sistema. Per facilitare il riconoscimento dei formati nel corso della dimostrazione, le immagini in movimento rappresentate sullo schermo

Attività	Minuti
MARRIOTT	
Distribuzione scheda valutazione	0
Introduzione dei moderatori "consulenti"	4
Pedrocelli: spiegazione tecnica del collegamento, del DICOM e dello STREAMING	8
TOTALE PARZIALE	12
COLLEGAMENTO SAN PAOLO	
TORTA: Insufficienza mitralica severa da rottura di corda tendinea	
Descrizione sintetica caso clinico	2
Visione clip in dicom del caso (almeno 1 2D+1color+1 doppler PW o CW)	3
Interazione in streaming a distanza con richiesta del "moderatore consulente" (almeno 1 2D+1color+1 doppler PW o CW)	5
commento con sala sulla indicazione/non indicazione chirurgica	3
BARBIERI: Protesso valvolare mitralico	
Descrizione sintetica caso clinico	2
Visione clip in dicom del caso (almeno 1 2D+1color+1 doppler PW o CW)	3
Interazione in streaming a distanza con richiesta del "moderatore consulente" (almeno 1 2D+1color+1 doppler PW o CW)	5
commento con sala sulla indicazione/non indicazione chirurgica	3
TOTALE PARZIALE	24
COLLEGAMENTO SALA OPERATORIA NIGUARDA	
CATENA - TASELLI: Rivascolarizzazione miocardica e correzione di insufficienza mitralica ischemica	
Descrizione sintetica caso clinico e descrizione tipo di intervento	4
Visione clip in dicom preoperatorie (almeno 1 2D+1color+1 doppler PW o CW)	2
Interazione in streaming a distanza con richiesta del "moderatore consulente" (almeno 1 2D+1color+1 doppler PW o CW)	5
commento in sala sull'intervento	3
TOTALE PARZIALE	14
MARRIOT	
Dr.ssa G. Boughi: intervento precedente	5
Conclusione moderatori e ritiro schede compilate	5
TOTALE FINALE	60

Figura 2. *Schema dei tempi di collegamento.*

Scheda di valutazione

PARTI IN STREAMING (trasmissione di immagini in movimento in continuo)

Qualità del bidimensionale	da "1" a "10"	____
Qualità del Color Doppler	da "1" a "10"	____
Qualità del Doppler PW e CW	da "1" a "10"	____

PARTI IN DICOM (loop già prediscorti in fase di preparazione della teleconferenza)

Qualità del bidimensionale	da "1" a "10"	____
Qualità del Color Doppler	da "1" a "10"	____
Qualità del Doppler PW e CW	da "1" a "10"	____

Ritieni che vi sia una differenza CLINICAMENTE importante tra lo streaming ed il Dicom?
Si/no ____

SONORO
Qualità della voce dell'operatore remoto da "1" a "10" ____

IMMAGINI
Qualità delle immagini fisse (INTERVENTO) da "1" a "10" ____

Giudizio complessivo sulla possibilità "TECNICA" di interazione in teleconferenza
FATTIBILE SENZA DIFFICOLTA' ☐
FATTIBILE CON DIFFICOLTA' ☐
NON FATTIBILE ☐

Giudizio complessivo sulla possibilità "CLINICA" di interazione in teleconferenza
FATTIBILE SENZA DIFFICOLTA' ☐
FATTIBILE CON DIFFICOLTA' ☐
NON FATTIBILE ☐

La teleconferenza potrebbe essere adottata nel vostro centro:
si con frequenza settimanale ☐
si in casi molto selezionati (frequenza mensile) ☐
no non esiste la necessità clinica ☐

Figura 3. *Questionario.*

- Copyright - Il Pensiero Scientifico Editore downloaded by IP 216.73.216.135 Tue, 08 Jul 2025, 12:04:11

sono sempre state chiaramente identificabili come DICOM o come *streaming*.

Unità di misura

La misura elementare del sistema binario è il bit che può assumere solo due valori: 0 o 1. Il byte rappresenta invece un insieme ordinato di 8 bit ed è un multiplo del bit. Con il byte è quindi possibile rappresentare un numero maggiore di informazioni (2^8 bit = 256 valori rappresentabili).

Si usano i b/s (= bit per s) quando si descrive un trasferimento di informazioni da un punto ad un altro con il sistema binario. I byte vengono utilizzati quando ci si riferisce all'informazione trasferita in modo completo da un punto ad un'altro. La Tabella 1 riporta i multipli del bit e dei byte.

Risultati

Preparazione del teleconsulto

L'allestimento del collegamento sala congressuale-Azienda San Paolo ha comportato alcune difficoltà di trasmissione dati legate alla scarsa efficienza e disponibilità dimostrata dal gestore telefonico coinvolto.

L'allestimento del collegamento sala congressuale-Azienda Ca' Granda è avvenuto utilizzando per la parte intraospedaliera la rete LAN dell'azienda. L'uso della rete ospedaliera dell'Azienda Ca' Granda ha comportato problemi di interruzione della trasmissione e rallentamento nella trasmissione dei media legati alla velocità di trasferimento dati.

Teleconsulto

Nel giudizio espresso dagli attori della teleconferenza la dimostrazione è risultata complessivamente soddisfacente: il segnale audio video è risultato di qualità accettabile per stabilire un efficace contatto tra i centri, l'invio di file DICOM dell'esame preliminare è avvenuto in pochi secondi, l'interazione con lo *streaming* video è risultata di qualità sufficiente allo scopo. Ai due relatori esperti è apparso evidente il calo delle qualità dell'immagine proiettata in sala su uno schermo di grandi dimensioni.

Tra i 37 partecipanti in sala hanno risposto al questionario 21 persone. Per quanto riguarda la qualità dei media in 12 casi (57%) è stata rilevata una differenza tra DICOM e *streaming* video. In 7 casi (33%) non è stata rilevata alcuna differenza. Due convenuti non hanno saputo esprimere un parere sulla diversa qualità dei media rappresentati (Tabella 2).

Sulla fattibilità del teleconsulto con la tecnologia presentata tutti hanno espresso un giudizio favorevole anche se in 15 casi (71%) il parere è stato quello di una fattibilità "con difficoltà" (Tabella 2).

Sulla possibilità di un uso immediato nella propria realtà clinica, in 18 casi (86%) è stata espressa la possibilità concreta di utilizzo attuale, sia pure con una diversa frequenza di utilizzo in 15 casi (71%) 1 volta al mese e in 3 casi (14%) 1 volta alla settimana (Tabella 2).

Costi

I costi indicativi del sistema sono 120 000 € per l'ecocardiografo DICOM compatibile, 20 000/25 000 € per il server DICOM, 2000 € per ogni convertitore analogico digitale, 100/200 € per ogni router, 300 € per l'installazione della linea HDSL e 1200 € di canone annuo.

Nel costo del canone è compreso un traffico di 1 Gbyte al mese con un costo aggiuntivo, per il traffico eccedente, di 4 centesimi di € per ogni Mbyte. Va sottolineato che la copertura di traffico di 1 Gbyte permettere di eseguire 10-15 teleconsulenze.

Discussione

La prima esperienza di teleconsulto in ecocardiografia descritta in letteratura è stata off-line per i limiti della tecnologia del tempo[19]. In seguito il teleconsulto eco-

Tabella 1. Multipli del bit e del byte.

Abbreviazione	Legenda	Valore
Bit (usati per pesare il trasferimento dei dati)		
Kbit	Kilobit	10^3
Mbit	Megabit	10^6
Gbit	Gigabit	10^9
Tbit	Terabit	10^{12}
Byte (usati per pesare i dati da trasferire)		
Kbyte	Kilobyte	10^3
Mbyte	Megabyte	10^6
Gbyte	Gigabyte	10^9
Tbyte	Terabyte	10^{12}

Tabella 2. Risposte al questionario.

Esiste una differenza di qualità percepita tra il DICOM e lo streaming video?	
Sì	12 (57%)
No	7 (33%)
Non so	2 (10%)
Totale	21
È possibile realizzare il teleconsulto con la tecnologia presentata?	
Sì senza difficoltà	6 (29%)
Sì con difficoltà	15 (71%)
No	0
Totale	21
Con quale frequenza ritieni possibile l'impiego della teleconsulenza ecocardiografica nella realtà dove lavori?	
1 volta alla settimana	3 (14%)
1 volta al mese	15 (71%)
Mai	2 (10%)
Non so	1 (5%)
Totale	21

- Copyright - Il Pensiero Scientifico Editore downloaded by IP 216.73.216.135 Tue, 08 Jul 2025, 12:04:11

cardiografico si è sviluppato, utilizzando un numero crescente di linee ISND per consentire l'allargamento della banda disponibile e la cosiddetta modalità *live*[21-24].

La nostra proposta si caratterizza sia per la scelta della modalità del teleconsulto ecocardiografico, che abbiamo definito interattivo e "clinico", sia per la scelta di utilizzare il cavo telefonico standard.

Teleconsulto in ecocardiografia

Una delle applicazioni emergenti della telemedicina è il teleconsulto in cardiologia. Quando vengono impiegati media leggeri non esistono particolari difficoltà tecniche[3,10,16,18].

Il teleconsulto ecocardiografico si è sviluppato molto in cardiologia neonatale e pediatrica, specialità nelle quali è stata dimostrata la fattibilità, l'utilità clinica e il buon rapporto costi/benefici[22-24,27-30]. In letteratura scarseggiano, invece, contributi nel campo dell'ecocardiografia dell'adulto[19,20,25,26]. È probabile che la forte motivazione clinica dello screening delle cardiopatie congenite più gravi abbia favorito l'impiego del teleconsulto in età neonatale o pediatrica e che le difficoltà tecniche siano state per questo affrontate e superate. È indubbio che in campo ecocardiografico esistano due ordini di problemi da superare. Il primo consiste nella scarsa possibilità di codifica e standardizzazione di un esame che tuttora dipende dalle capacità dell'esecutore. Il modello del teleconsulto in ecocardiografia in pediatria lo conferma: anche *sonographer* addestrati hanno la necessità di essere assistiti da lontano da un esperto che condivida con loro, in diretta, l'esecuzione dell'esame e la corretta acquisizione delle sezioni.

Nel nostro paese il problema della standardizzazione è di difficile soluzione. Infatti, non esistendo la figura del *sonographer* che rileva sempre tutte le sezioni, il cardiologo pediatra o il cardiologo dell'adulto registra solo le sezioni che ritiene sufficienti alla definizione del caso.

Quando il caso è complesso può essere quindi necessario riacquisire una sezione tecnicamente insoddisfacente o ricorrere alle cosiddette *off-axis*, sezioni non codificate, ma talvolta dirimenti nella definizione del caso.

Appare, quindi, di particolare importanza la possibilità di un'interazione tra esperto e inesperto nella fase di acquisizione dei nuovi media che, sommati a quelli già raccolti in fase preliminare, costituiscono l'esame eco bidimensionale color Doppler completo.

Il secondo problema, più tecnico e meno intuitivo, è legato al tipo di media nel quale viene racchiuso il contenuto informativo dell'esame e alla modalità di invio a distanza. La clip ecocardiografica è, infatti, costituita da immagini con una risoluzione di ottimo livello, un elevato numero di frame nell'unità di tempo (*frame rate*) e un formato DICOM che, nato per codificare singole immagini radiologiche e per consentire l'interazione tra centri diversi, mal si presta ad essere alleggerito[40].

Lo standard DICOM è stato ideato, nel 1993, per poter inviare i risultati di un esame di imaging ad un'apparecchiatura diversa da quella che lo ha generato. Pur con i difetti sovraesposti è lo standard attuale che consente l'esecuzione di calcoli, la refertazione e l'archiviazione degli esami[37,38]. Il suo limite è il "peso" dei media che, sia pure con tutta la tecnologia esistente oggi, non consente la funzione in tempo reale con l'uso del cavo telefonico standard. Infatti, l'ordine di grandezza del peso di una clip è di circa 2-3 Mbyte, peso che mal si adatta alla trasmissione live con il cavo telefonico che varia da 50 kbps a 2 Mbps.

Il sistema operativo e il software di audioconferenza

Il sistema operativo e il sistema di audioconferenza sono stati, rispettivamente Windows XP[32] e Netmeeting[33]. Il primo è stato scelto per la sua facilità d'uso. È indubbio che Windows XP, pur considerando i limiti attuali sulla sicurezza da intrusioni di virus e similari, ha delle caratteristiche di assoluto interesse dovute alla sua particolare facilità d'uso e alla stabilità. La scelta del sistema di teleconferenza è stata conseguente, in quanto Netmeeting è il software più semplice da utilizzare in ambiente Windows XP. Permette, infatti, di collegare facilmente due punti remoti in teleconferenza con un ridotto impiego della banda di trasmissione e con la possibilità di interrompere la trasmissione/ricezione video una volta avviata la sessione, con conseguente aumento della banda disponibile per lo *streaming* principale. Il collegamento audio/video dei due punti remoti in teleconferenza è risultato relativamente semplice ed ha assicurato un ridotto impiego della banda di trasmissione.

I formati utilizzati e la trasmissione in streaming

Il primo accorgimento scelto per ridurre il "peso" delle informazioni che devono viaggiare è stato quello di scegliere una duplice modalità di lavoro: con il formato DICOM e con il formato compresso (MPEG4). Entrambi hanno vantaggi e svantaggi.

Il primo non può essere discusso per quanto riguarda il suo impiego nella fase di esecuzione dei calcoli e nella refertazione[37,38,40]. Ha però lo svantaggio del peso. È stato quindi utilizzato solo per inviare le clip che costituiscono l'esame ecocardiografico finale che può essere archiviato insieme al referto formale. Parte di queste clip è stata inviata in fase di inizio della teleconsulenza; le clip aggiuntive sono state acquisite in teleconferenza.

Il formato MPEG4 è l'ultima evoluzione del sistema di compressione MPEG[41]. Attualmente non è stato accreditato come formato ufficiale e quindi non può essere utilizzato per l'invio di media al di fuori dell'ecografo, per l'esecuzione di calcoli e per la refertazione ufficiale. Vale la pena di sottolineare che, nonostante le condizioni "ideali" realizzate per l'occasione congressuale, la maggioranza dei partecipanti (57%) ritiene che le immagini in MPEG4 siano qualitativamente peggiori di quelle in formato DICOM. Questo è un dato inatteso anche per i buoni risultati segnalati da Barbier et

- Copyright - Il Pensiero Scientifico Editore downloaded by IP 216.73.216.135 Tue, 08 Jul 2025, 12:04:11

al.[36]. Con ogni probabilità la proiezione in sala su schermo di grandi dimensioni spiega, almeno parzialmente, questo risultato non soddisfacente. La differenza della qualità con lo schermo ad alta definizione è apparsa, infatti, evidente agli attori della teleconferenza. Questo dato conforta la nostra scelta di non utilizzare il formato MPEG4 per l'analisi, l'archiviazione dell'esame e la stesura del referto finale. Lo abbiamo invece utilizzato nella fase *live* per far condividere l'esame, durante l'esecuzione, tra centro "esperto" e "inesperto".

Riteniamo, comunque, che la qualità dello *streaming* video sia sufficiente nella fase di ausilio all'operatore inesperto nella ricerca della sezione idonea da registrare in DICOM.

La trasformazione del formato ecocardiografico residente nell'ecografo in MPEG4 e la successiva trasmissione

Il formato ecocardiografico residente sull'ecografo raccoglie sequenza di immagini di grandi dimensioni, ad alta risoluzione, con una elevata gamma dinamica del segnale e un elevato *frame rate*.

La compressione utilizza il segnale SuperVideo (analogico) con le informazioni di luminanza e di crominanza separate. La transcodifica avviene in tempo reale grazie alla scheda video dedicata. Le singole immagini derivanti da questa operazione hanno una risoluzione orizzontale di almeno 400 linee, una elevata gamma dinamica di 89 dB e vengono acquisite con un *frame rate* di 50 frame/s.

Per inviare le immagini in tempo reale è stata utilizzata la tecnologia dello *streaming*, una tecnica di trasferimento dei dati con un flusso costante e continuo. Nella nostra dimostrazione il software di *streaming* residente nel PC suddivide il segnale in pacchetti e li invia verso la postazione remota in modalità unicast. Nell'erogazione del servizio abbiamo scelto lo *streaming live* che erogando il contenuto audio/video distribuisce un unico flusso dati uguale per tutti i computer (client) collegati. Il peso dello *streaming* così realizzato è risultato dell'ordine di 0.7-1 Mbps e ha consentito, utilizzando tutti gli altri accorgimenti, l'invio in tempo reale delle immagini ecocardiografiche in movimento con una qualità che è apparsa sufficiente per gli scopi ai quali l'abbiamo destinata. Infatti, nella nostra dimostrazione, il 33% dei partecipanti non ha neppure rilevato differenze significative in termini di qualità delle immagini in movimento con il formato di riferimento (DICOM).

Il problema della banda

Con questo termine si intende la grandezza dei "canali" utilizzabili per far viaggiare le informazioni nei grandi spazi (da un centro all'altro). Attualmente, sono disponibili il cavo telefonico standard, il satellite e la fibra ottica. Questi supporti consentono di trasmettere, in un secondo, una quantità progressivamente crescente di informazioni.

Il cavo telefonico è il sistema più antico, più diffuso e sul quale sono stati compiuti i maggiori progressi. Infatti, la banda disponibile è passata dagli iniziali 50 Kbps del doppino standard agli oltre 2 Mbps raggiungibili con l'applicazione della HDSL. Nel nostro caso sono state raggiunte velocità da 1.5 Mbps a 2 Mbps con una banda minima garantita di 1 Mbps.

Tra questi estremi ci sono la tecnologia ISDN che consente una banda variabile da 64 Kbps a 128 Kbps e l'ADSL che, nata con una banda fino a 640 Kbps, ha raggiunto velocità molto superiori. Con il satellite e l'antenna parabolica si può arrivare fino a 400 o 500 Kbps in ricezione; rimane più stretta la banda per l'invio di informazioni. La fibra ottica consente velocità enormemente superiori dell'ordine di circa 2.5 Gbps.

Il sistema che abbiamo testato garantisce una discreta larghezza di banda con un soddisfacente limite minimo assicurato e la possibilità di una linea bilanciata che permette una facile inversione dei ruoli tra operatore esperto e operatore non esperto.

Questo risultato è stato ottenuto definendo nelle due postazioni LAN gli indirizzi remoti e lasciando al router il trasferimento dei pacchetti di dati verso la destinazione finale.

La trasmissione delle informazioni

Come abbiamo detto, per esigenze logistiche, le scelte sono state differenti nelle due aziende. Nel sistema sviluppato all'Azienda San Paolo è stata utilizzata una linea telefonica *ad hoc* con tecnologia HDSL. Questo sistema comporta il costo aggiuntivo dell'installazione di una nuova linea telefonica, ma assicura una larghezza di banda sicura e garantita per la teleconferenza. È quello che, allo stato attuale, appare più semplice e sicuro.

Nel sistema sviluppato nell'Azienda Ca' Granda abbiamo dovuto utilizzare per gli "ultimi passi" la rete LAN ospedaliera ed interfacciare l'ecocardiografo con l'impiego di uno *switch* Ethernet. Questo tipo di collegamento assicura una banda adeguata (fino ad 1 Gbps) con costi estremamente contenuti[62].

Sono tuttavia emersi due problemi. Il primo legato alla sicurezza è stato affrontato cooperando con il responsabile *information technology* (IT) per non creare falle pericolose nel *firewall* di protezione. Il secondo rivolto al rischio di sfruttamento di tutta la banda disponibile con saturazione della rete e blocco delle comunicazioni ospedaliere. Abbiamo quindi modulato la larghezza di banda a disposizione cooperando con il responsabile IT dell'Azienda che ha limitato la banda disponibile. Queste limitazioni hanno determinato degli inconvenienti durante la fase *live*.

Il *firewall* di protezione ha causato dei blocchi: è stato necessario abbassare il livello di protezione, durante la fase *live*, per consentire a Netmeeting il normale funzionamento, trasferendo in modo bidirezionale le immagini delle webcam e le voci dei due interlocutori. La soluzione dovrebbe prevedere la creazione di una

- Copyright - Il Pensiero Scientifico Editore downloaded by IP 216.73.216.135 Tue, 08 Jul 2025, 12:04:11

virtual private network che veicoli in modo totalmente criptato e su un'unica porta TCP/IP l'intero traffico del teleconsulto. Questa soluzione, infatti, oltre ad assicurare un corretto passaggio delle informazioni, garantirebbe un'elevata sicurezza dei dati per l'elevata complessità del protocollo che è basato su scambio di chiavi da 128 a 1024 bit.

È possibile il teleconsulto con la tecnologia impiegata?
È intuitivo che i tempi di un reale consulto non sono quelli di una simulazione e che sono necessari dei contributi *ad hoc* che dimostrino tempi, utilità clinica e costi di questo tipo di procedura. Il dato che traspare è la concordanza sull'efficacia del metodo impiegato. Nessuno tra i convenuti in sala ha ritenuto non idonea la tecnologia impiegata. Permane la difficoltà nell'impiego del cavo telefonico standard che, pur con tutti gli accorgimenti tecnologici adottati rende fattibile la consulenza, ma "con difficoltà", nel 71% delle risposte. In ogni caso, l'esigenza del teleconsulto sembra sentita. Infatti, nel 71% dei casi viene ritenuto utile un teleconsulto al mese e nel 14% addirittura 1 volta a settimana (Tabella 2). Da ultimo, ci sembra di poter affermare che i costi appaiono accettabili se si considera la possibilità di disporre del consulente di fiducia senza doverlo spostare fisicamente.

Conclusione

La telemedicina rappresenta una frontiera assai innovativa e avanzata dell'assistenza sanitaria.

È indubbio che le situazioni logistiche nelle quali è più conveniente "spostare" i dati e non i malati o i consulenti sono molto numerose.

È indubbio che, con il prevedibile aumento della diffusione della fibra ottica si assisterà ad una progressiva riduzione delle problematiche emerse con la nostra sperimentazione e ad un probabile incremento delle teleconsulenze in ecocardiografia.

L'ecocardiografia, nonostante il suo impatto clinico indiscusso, rappresenta attualmente solo una piccola nicchia di utilizzo di questa nuova tecnologia, probabilmente per le difficoltà tecniche insite nella metodica.

La nostra esperienza suggerisce che, qualora se ne ravvisi la necessità, è teoricamente possibile realizzare un teleconsulto in ecocardiografia utilizzando l'unico formato ufficiale accreditato in letteratura (DICOM) e un cavo telefonico. Tuttavia, la fattibilità pratica e la convenienza economica di tale modalità organizzativa rimangono da dimostrare.

Riassunto

Razionale. La pratica del teleconsulto in medicina è avviata senza particolari difficoltà, quando sia possibile utilizzare media leggeri, di acquisizione semplice e standardizzata. In ecocardiografia esistono delle difficoltà legate alla pesantezza dei media e alla mancanza di una standardizzazione nella loro acquisizione. Lo scopo di questa esperienza è stato di verificare se fosse possibile collegare in teleconsulto due laboratori utilizzando il cavo telefonico standard.

Materiali e metodi. L'hardware comprendeva un ecocardiografo, un personal computer, una scheda di acquisizione video e una di rete, una webcam USB e un router. Per la trasmissione è stata utilizzata la linea HDSL. Il software di base comprende Windows XP e Netmeeting. Nella fase di interazione live tra i centri è stato utilizzato lo *streaming* video ottenuto comprimendo le clip con il codec MPEG4 e inviandole con il software di *streaming* residente sul PC. Per gli aspetti formali è stato impiegato lo standard DICOM. Il sistema è stato verificato con una dimostrazione al Congresso Nazionale di Ecografia Cardiovascolare del 2005.

Risultati. Nel giudizio espresso dagli attori della teleconferenza la dimostrazione è risultata soddisfacente. Tra i partecipanti in sala hanno risposto al questionario 21 persone: in 12 casi (57%) è stata rilevata una differenza tra *streaming* video e DICOM che non è stata rilevata in 7 casi (33%). Tutti hanno espresso un giudizio favorevole sul metodo, anche se, in 15 casi (71%), il parere è stato di una fattibilità con difficoltà. In 18 casi (86%) è stata espressa la possibilità di utilizzo concreto della tecnologia presentata. I costi complessivi sono stati di 145 000 €. La realizzabilità pratica e la convenienza economica di tale modalità di teleconsulto rimangono da dimostrare.

Conclusioni. La nostra esperienza suggerisce che è teoricamente possibile realizzare un teleconsulto in ecocardiografia, utilizzando un normale cavo telefonico in HDSL.

Parole chiave: Cavo telefonico HDSL; Ecocardiografia; Teleconsulto.

Ringraziamenti

Il progetto è stato realizzato con il coinvolgimento di più figure professionali quali medici, ingegneri clinici, tecnici ed è quindi un esempio di collaborazione che ha portato allo sviluppo di un sistema funzionale permettendo la risoluzione di tutte quelle problematiche specifiche delle diverse professionalità. Un particolare ringraziamento alla Aloka Italia SpA che ci ha affiancato nello sviluppo del metodo.

Bibliografia

1. Demiris G, Shigaki CL, Schopp LH. An evaluation framework for a rural home-based telerehabilitation network. J Med Syst 2005; 29: 595-603.
2. Hildebrand PL. Discovering optimal telemedicine strategies for evaluating diabetic retinopathy. Am J Ophthalmol 2005; 140: 703-4.
3. Rubel P, Fayn J, Nollo G, et al. Toward personal eHealth in cardiology. Results from the EPI-MEDICS telemedicine project. J Electrocardiol 2005; 38 (Suppl): 100-6.
4. Hatcher M, Tabriziani H, Heetebry I. Database application of digital medical X-rays and labs: computerization, storage, retrieval, interpretation, and distribution. J Med Syst 2005; 29: 317-24.
5. Patterson V, Conneally P. Intercontinental telemedicine for acute neurology. J Telemed Telecare 2005; 11: 320-2.
6. Patton N, Aslam TM, Macgillivray T, et al. Retinal image analysis: concepts, applications and potential. Prog Retin Eye Res 2006: 99-127.

- Copyright - Il Pensiero Scientifico Editore downloaded by IP 216.73.216.135 Tue, 08 Jul 2025, 12:04:11

7. Koizumi T, Takizawa M, Nakai K, et al. Trial of remote telemedicine support for patients with chronic respiratory failure at home through a multistation communication system. Telemed J E Health 2005; 11: 481-6.
8. Bradford WD, Kleit A, Krousel-Wood MA, Re RM. Comparing willingness to pay for telemedicine across a chronic heart failure and hypertension population. Telemed J E Health 2005; 11: 430-8.
9. Soopramanien A, Pain H, Stainthorpe A, Menarini M, Ventura M. Using telemedicine to provide post-discharge support for patients with spinal cord injuries. J Telemed Telecare 2005; 11 (Suppl 1): 68-70.
10. Scalvini S, Martinelli G, Baratti D, et al. Telecardiology: one-lead electrocardiogram monitoring and nurse triage in chronic heart failure. J Telemed Telecare 2005; 11 (Suppl 1): 18-20.
11. Rumpsfeld M, Arild E, Norum J, Breivik E. Telemedicine in haemodialysis: a university department and two remote satellites linked together as one common workplace. J Telemed Telecare 2005; 11: 251-5.
12. Norum J, Bruland OS, Spanne O, et al. Telemedicine in radiotherapy: a study exploring remote treatment planning, supervision and economics. J Telemed Telecare 2005; 11: 245-50.
13. Roth A, Gadot R, Kalter E. Tele-cardiology for patients with chronic heart failure: the "SHL" experience in Israel and Germany. Stud Health Technol Inform 2005; 114: 235-7.
14. Eikelboom RH, Mbao MN, Coates HL, Atlas MD, Gallop MA. Validation of tele-otology to diagnose ear disease in children. Int J Pediatr Otorhinolaryngol 2005; 69: 739-44.
15. Hartford K. Telenursing and patients' recovery from bypass surgery. Adv Nurs 2005; 50: 459-68.
16. Zanini R, Romano M, Buffoli F, et al. La telecardiologia nella gestione dell'infarto miocardico acuto: l'esperienza della rete provinciale di Mantova. Ital Heart J Suppl 2005; 6: 165-71.
17. Angel DI, Alfonso R, Faizal M, et al. Cutaneous tuberculosis diagnosis in an inhospitable Amazonian region by means of telemedicine and molecular biology. J Am Acad Dermatol 2005; 52 (Suppl 1): S65-S68.
18. Schwaab B, Katalinic A, Riedel J, Sheikhzadeh A. Pre-hospital diagnosis of myocardial ischaemia by telecardiology: safety and efficacy of a 12-lead electrocardiogram, recorded and transmitted by the patient. J Telemed Telecare 2005; 11: 41-4.
19. Trippi JA, Lee KS, Kopp G, Nelson DR, Yee KG, Cordell WH. Dobutamine stress tele-echocardiography for evaluation of emergency department patients with chest pain. J Am Coll Cardiol 1997; 30: 627-32.
20. Trippi JA, Lee KS, Kopp G, Nelson D, Kovacs R. Emergency echocardiography telemedicine: an efficient method to provide 24-hour consultative echocardiography. J Am Coll Cardiol 1996; 27: 1748-52.
21. Fisher JB Alboliras ET, Berdusis K, Webb CL Rapid identification of congenital heart disease by transmission of echocardiograms. Am Heart J 1996; 131: 1225-7.
22. Sable C, Roca T, Gold J, Gutierrez A, Gullotta E, Culpepper W. Live transmission of neonatal echocardiograms from underserved areas: accuracy, patient care, and cost. Telemed J 1999; 5: 339-47.
23. Milazzo AS, Herlog JR, Li JS, Sanders AP, Barrington M, Bengur AR Real-time transmission of pediatric echocardiograms using a single ISND line. Comput Biol Med 2002; 32: 379-88.
24. Widmer S, Ghisa R, Ramelli GP, et al. Tele-echocardiography in paediatrics. Eur J Pediatr 2003; 162: 271-5.
25. Miyashita T, Takizawa M, Nakai K, et al. Telemedicine of the heart: real-time telescreening of echocardiography using satellite telecommunication. Circ J 2003; 67: 562-4.
26. Huffer LL, Bauch TD, Furgerson JL, Bulgrin J, Boyd SY. Feasibility of remote echocardiography with satellite transmission and real-time interpretation to support medical activities in the austere medical environment. J Am Soc Echocardiogr 2004; 17: 670-4.
27. Awadallah S, Halaweish I, Kutayli F. Tele-echocardiography in neonates: utility and benefits in South Dakota primary care hospitals. S D Med 2006; 59: 97-100.
28. Sharma S, Parness IA, Kamenir SA, et al. Screening fetal echocardiography by telemedicine: efficacy and community acceptance. J Am Soc Echocardiogr 2003; 16: 202-8.
29. Justo R, Smith AC, Williams M, et al. Pediatric telecardiology services in Queensland: a review of three years' experience. Journal Telemed Telecare 2004;10 (Suppl 1): S57-S60.
30. Sable CA, Cummings SD, Pearson GD, et al. Impact of telemedicine on the practice of pediatric cardiology in community hospitals. Pediatrics 2002; 109: E3.
31. http://assistenza.tiscali.it/networking
32. http://www.microsoft.com/windowsxp/default.mspx
33. http://www.microsoft.com/windows/netmeeting
34. Umeda A, Iwata Y, Okada Y, et al. A low-cost digital filing system for echocardiography data with MPEG4 compression and its application to remote diagnosis. J Am Soc Echocardiogr 2004; 17: 1297-303.
35. Yamakawa T, Toyabe SI, Cao P, Akazawa K. Web-based delivery of medical multimedia contents using an MPEG-4 system. Computer Methods Programs Biomed 2004; 75: 259-64.
36. Barbier P, Alimento M, Berna G, et al. Clinical validation of different echocardiographic motion pictures expert group-4 algorythms and compression levels for telemedicine. Medinfo 2004; 11: 1339-42.
37. Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) Standard, version 3.0. Washington DC: National Electrical Manufactures Association, 1994.
38. http://medical.nema.org
39. Sobczyk WL, Solinger RE, Rees AH, Elbl F. Transtelephonic echocardiography: successful use in a tertiary pediatric referral center. J Pediatr 1993; 122: S84-S88.
40. Thomas JD, Greenberg NL, Garcia MJ. Digital echocardiography 2002: now is the time. J Am Soc Echocardiogr 2002; 15: 831-8.