

Alessandro Iscra

Liceo Classico e  
Linguistico Statale  
"G. Mazzini"  
di Genova

# La diffusione dell'ora esatta nell'era della televisione digitale

(Pervenuto il 20.8.2012, approvato il 18.1.2013)

## ABSTRACT

The reasons why in our days it is impossible to regulate our watches with precision through radio or TV signals are described and discussed. The International Atomic Time, the leap second concept, the modern techniques used to obtain a correct speaking clock and the reasons that corrupt the delivery of the time check via digital broadcasts are briefly described, showing that regulating our watches on the time check provided by radio and television has now become impossible.

## 1. Introduzione

Una classica applicazione delle trasmissioni radiotelevisive è rappresentata dalla diffusione del segnale orario, trasmesso dalla Radiotelevisione Italiana (RAI) dal 1942. Grazie a tale segnale, il pubblico poteva regolare i propri orologi che, realizzati con congegni meccanici, erano soggetti ad errori compresi fra decine di secondi e qualche minuto al giorno [1]. Tali errori rendevano molto utile una regolazione quotidiana. L'avvento degli orologi elettronici ha consentito di ridurre gli errori a meno di un secondo al giorno, non rendendo più importante una regolazione giornaliera; parallelamente la diffusione dell'ora esatta è stata effettuata anche tramite altri canali, come il *teletext* (le pagine informative di testo che molte emittenti televisive diffondono insieme ai programmi), gli orologi radiocontrollati, i ricevitori Global Positioning System (GPS), le applicazioni web. Ciononostante, il segnale orario è tuttora diffuso dalle emittenti radiofoniche e televisive, ma in molti casi viene riprodotto dai nostri apparecchi con un ritardo di alcuni secondi, a seguito dell'impiego dei satelliti geostazionari (responsabili di qualche decimo di secondo) e delle moderne tecniche digitali (responsabili del maggior ritardo).

Questo articolo può essere usato come un'unità didattica per la scuola secondaria di secondo grado che, con il pretesto di condurre il lettore a verificare la ricezione ritardata del segnale orario, fornisce alcuni spunti su diversi temi, quali la definizione del tempo atomico internazionale, il funzionamento della radio e della televisione, la codifica e la compressione dei segnali audio e video. Quasi tutti i temi trattati possono essere approfonditi autonomamente, specialmente tramite ricerche sul web. Al fine di agevolare lo studente o il docente nell'approfondimento dei temi trattati, la sitografia sostituisce la bibliografia.

L'articolo è suddiviso in sette paragrafi, a cui si aggiunge la sitografia: a questa introduzione segue una breve descrizione di come viene oggi stabilita l'ora esatta ed il significato del secondo intercalare; il paragrafo 3 è dedicato alla diffusione del segnale orario e descrive i sistemi attualmente più utilizzati. Il quarto paragrafo affronta il problema del ritardo con cui l'utente finale riceve il segnale orario, evidenziando come in molti casi, ad eccezione della radiotelevisione satellitare e digitale, questo sia trascurabile per una regolazione con la precisione del secondo. I principi della moderna televisione digitale terrestre sono descritti nel sesto paragrafo, evidenziandone le problematiche inerenti i ritardi, mentre nel settimo si effettuano alcune riflessioni sulla diretta televisiva e su come tale ritardo la compromette in occasione di alcuni eventi particolari, come il festeggiamento del Capodanno. Il settimo paragrafo riporta le conclusioni.

Si ritiene opportuno precisare che le considerazioni effettuate nel seguito sulla diffusione dell'ora esatta e sulla sua precisione sono relative ad un utilizzo da parte dell'utenza comune, che regola i propri orologi. Non è scopo di questo documento analizzare dettagli relativi alla distribuzione del segnale orario con pre-

cisione tale da consentire di effettuare, ad esempio, le delicatissime misure che permettono di misurare la velocità dei neutrini su distanze di centinaia di chilometri.

## 2. L'ora esatta

La determinazione e diffusione dell'ora esatta era di competenza dell'Istituto Elettrotecnico Nazionale (IEN) "Galileo Ferraris" di Torino fino al 2006, anno in cui si è unito con l'Istituto di Metrologia "Gustavo Colonnetti" (IMGC) del CNR e da tale unione è nato l'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM [2]). L'Istituto appartiene ad una rete internazionale che, tramite diversi orologi al cesio e con il coordinamento del Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) [3], realizza la scala internazionale di riferimento del Tempo Internazionale Atomico (*Temps Atomique International*, TAI [4]). Il TAI approssima nel migliore dei modi il secondo, come risulta definito dal Sistema Internazionale (SI). Dal 1967, il secondo è definito come multiplo del periodo della radiazione emessa da un atomo di cesio in corrispondenza di una ben determinata transizione energetica [5]; come si potrebbe intuire, disponendo del secondo di riferimento è possibile stabilire l'ora esatta ottenuta dal conteggio dei secondi trascorsi a partire da una certa origine. È proprio in questo modo che si giunge alla definizione del *Coordinated Universal Time* (UTC), che differisce dal TAI perché considera le irregolarità del moto di rotazione della Terra. In altre parole, fissato un istante come origine per la determinazione dell'ora (ad esempio il mezzogiorno di un determinato giorno, secondo il fuso orario di Greenwich), le irregolarità del moto di rotazione della Terra faranno sì che il mezzogiorno scandito dal TAI non corrisponderà con il mezzogiorno "astronomico", a seguito dell'accumulo di scarti di tempo. Per fare fronte a questo problema, l'organismo *International Earth Rotation and Reference System Service*, IERS, stabilisce quando introdurre un secondo di correzione, il cosiddetto *secondo intercalare* (*leap second*), con lo scopo di compensare tali scarti. Teoricamente il secondo può essere aggiunto o sottratto, ma da quando è stata introdotta tale procedura (anno 1972), nel trascorrere degli anni il secondo intercalare è stato sempre aggiunto: in altre parole, l'orologio atomico risulta più veloce rispetto a quello che si definirebbe considerando il solo moto di rotazione della Terra; ciò è dovuto a diversi fattori, fra cui il progressivo rallentamento del moto rotazionale della Terra a seguito della perdita di energia cinetica associata alle maree. L'elenco ufficiale delle date in cui è stato inserito il secondo intercalare è scaricabile tramite [6]; alla data della stesura di questo articolo, l'ultima inserzione del *leap second* risale al 1° luglio 2012 alle ore 00:00 UTC, fino a quella data sono stati introdotti 34 secondi intercalari. Convenzionalmente, il *leap second* aggiunto è rappresentato come sessantesimo secondo del minuto in cui viene inserito; in altre parole un orologio regolato sull'UTC il giorno 31 giugno 2012, un secondo prima della mezzanotte, avrebbe rappresentato l'ora 23:59:60 (corrispondenti alle 01:59:60 del 1 luglio 2012, secondo l'ora legale italiana). L'UTC coincide con il tempo locale nel fuso orario del Regno Unito (ora solare) e sostituisce il *Greenwich Mean Time* (GMT), definito prima dell'uso dell'IAT.

Quanto riportato in questo paragrafo, rappresenta solo delle *schegge* di un insieme di tematiche affascinanti e molto ampie, che possono essere approfondite dagli studenti e dai docenti interessati: come è stata definita l'ora? Da quanto tempo risulta unificata a livello mondiale? Quale ruolo hanno avuto i mezzi di comunicazione? Qual è la storia del secondo nel Sistema Internazionale? Come si sono sviluppati gli orologi? Quale ruolo ha svolto e svolge ancora l'astronomia nella misura del tempo? Molte di queste risposte si trovano in [1,...,5]; un interessante articolo sulla storia dei fusi orari è reperibile in [7].

### 3. La diffusione del segnale orario

I centri mondiali responsabili della realizzazione dell'IAT/UTC diffondono l'ora esatta tramite diversi canali di comunicazione. Come già citato nell'Introduzione, la RAI provvede alla diffusione del segnale orario dal 1942, segnale generato dall'INRIM (in precedenza dall'IEN) a partire dai campioni di riferimento nazionali ed inviato alla RAI ogni minuto, dapprima tramite le trasmissioni radiofoniche, successivamente anche tramite le trasmissioni televisive. In entrambi i casi, la diffusione di tale segnale è estremamente semplice: nel caso radiofonico l'ora esatta viene scandita trasmettendo, abitualmente prima dei notiziari radiofonici su Radio Uno e Radio Tre, una sequenza di cinque toni acustici (frequenza 1000 Hz, durata 0,1 s, primo impulso al secondo 54) intervallati di un secondo, segue la pausa di un altro secondo e un tono acustico finale scandisce lo scoccare di un minuto, specificato a voce da un cronista. Nel caso televisivo, viene semplicemente rappresentato sullo schermo un orologio analogico o numerico, accompagnato in alcuni casi dalla stessa modalità acustica rappresentata dalla radio. Tramite la radio e la televisione, l'utente poteva regolare il proprio orologio con la precisione dell'ordine del secondo (precisioni migliori sono compromesse dal tempo di reazione dell'utente nella regolazione, nonché dai ritardi di trasmissione, di cui si parlerà nel prossimo paragrafo). Negli anni '80, la trasmissione televisiva viene integrata con il teletext, adottato dalla RAI con il nome di Teletideo, che permette di visualizzare sullo schermo alcune pagine di notizie, sulla cui intestazione è presente l'ora esatta, la cui precisione è talvolta compromessa dal software che gestisce le pagine oppure da una mancata regolazione dell'orologio a cui fa riferimento tale software. La progressiva riduzione dei costi dei dispositivi elettronici porta alla realizzazione degli orologi radiocontrollati, che sono degli orologi elettronici al quarzo la cui data e ora viene regolata tramite un radoricevitore incorporato, sintonizzato su una frequenza su cui opera un trasmettitore destinato alla trasmissione continua del segnale orario. Per l'Europa, il sistema più utilizzato è il DCF77 caratterizzato da un orologio atomico ubicato in Germania e collegato con la rete del IAT. L'ora esatta è diffusa tramite un trasmettitore che opera sulla banda delle onde lunghe, alla frequenza di 77,5 kHz. Le onde elettromagnetiche a tale frequenza si propagano per onda di superficie, valicando i profili collinari e montuosi e di notte anche per riflessione ionosferica; con queste due modalità propagative il segnale viene ricevuto in tutta l'Europa Occidentale (si tenga presente che non è necessaria una ricezione continua, poiché in assenza di segnale, l'orologio radiocontrollato scandisce il tempo con la precisione di un comune orologio elettronico al quarzo). Esistono altre stazioni radio che diffondono segnali utili per ricostruire l'ora esatta (possono essere trovate su Internet utilizzando, nei motori di ricerca, la chiave *stazioni di tempo*). Anche la DCF77 è ampiamente documentata, con diversi siti che propongono realizzazioni di ricevitori; considerata la facilità con cui sono reperibili tali informazioni, non si fornisce specifica sitografia in merito. Anche i ricevitori GPS forniscono l'ora, ma per una lettura corretta, bisogna considerare che se il ricevitore è spento da molto tempo, l'ora indicata sarà fornita dall'orologio elettronico incorporato; se il ricevitore sta ricevendo correttamente i segnali satellitari, possono essere necessari fino a diversi minuti prima che questo si allinei con l'ora esatta. In particolare, il sistema GPS era sincronizzato con il TAI nel luglio 1980, quando fu attivato il servizio. Da allora ad oggi sono stati introdotti 16 secondi intercalari, pertanto il segnale orario del GPS (il GPS Time) nella sua versione nativa è 16 secondi avanti rispetto all'UTC. I satelliti trasmettono periodicamente il numero di secondi intercalari da considerare, ma se la ricezione non fosse ottimale, tale informazione potrebbe non essere ricevuta correttamente e l'indicazione oraria sarebbe inaffidabile; il lettore può visitare [8, 9] per ottenere ulteriori approfondimenti. Naturalmente, anche Internet rappresenta una risorsa utile per

disporre dell'ora esatta. Bisogna tuttavia considerare che i ritardi con cui riceviamo i dati dai server sono molto variabili e, in frazioni di minuti, possono subire variazioni di diversi secondi, quindi non possiamo pensare che un server dedicato per la diffusione dell'ora esatta la possa rendere disponibile nella forma di pagine web; un apposito protocollo, il *Network Time Protocol* [10], permette ai nostri computer di disporre dell'ora esatta dopo molteplici operazioni di stima e continua correzione del tempo impiegato ai dati a viaggiare dal server ai nostri terminali, sfruttando quindi la bidirezionalità delle connessioni Internet (cosa non possibile per i servizi di radiodiffusione). Applicazioni basate sul NTP possono essere trovate in [2]; un sito che usa il NTP per visualizzare l'ora esatta è [11].

#### 4. Il ritardo nella ricezione del segnale orario

Nei paragrafi precedenti, si è parlato di ora esatta e delle modalità per diffonderla. Poiché i segnali per propagarsi impiegano del tempo, l'utente riceverà l'ora esatta affetta dal ritardo che intercorre da quando il segnale orario viene trasmesso a quando viene ricevuto. Per stazioni radio di tempo, come la DCF77, il ritardo con cui il ricevitore riceve il segnale, è legato al tempo impiegato dalle onde radio a percorrere la distanza che lo separa dal trasmettitore. La DCF77 ha un raggio di copertura di circa 1500 km; un segnale che giunge al ricevitore per riflessione ionosferica percorrerà circa qualche centinaio di chilometri in più; poiché le onde elettromagnetiche si propagano alla velocità di  $3 \times 10^8$  m/s, su una distanza di 2000 km il ritardo risulta essere inferiore a 7 ms; ulteriori ritardi possono essere introdotti dal circuito elettronico che costituisce il ricevitore; in particolare i filtri, che eliminano i segnali alle frequenze indesiderate, introducono un ritardo di gruppo (in merito a questo concetto, la sitografia è ricca e varia, si consiglia di approfondirlo tramite motori di ricerca) dell'ordine del ms, inoltre, appartenendo questo parametro al ricevitore, potrebbe essere compensato. I ricevitori GPS ricevono i segnali da satelliti che si trovano a diverse migliaia di chilometri di distanza (i satelliti sono in orbita quasi circolare a circa 20000 km di altezza), ma poiché questi apparati riceventi hanno nota la loro posizione e quella dei satelliti, possono compensare i ritardi di propagazione senza problemi, quindi il ricevitore GPS ricostruisce localmente l'ora esatta; la stessa cosa vale per i computer che usano il NTP, ma in questo caso eventuali asimmetrie fra il tempo di ritardo in andata e ritorno può incrementare l'errore, tipicamente contenuto entro un secondo. I sistemi descritti fin qui in questo paragrafo garantiscono pertanto all'utente di regolare il proprio orologio con una precisione dell'ordine del secondo.

A quali ritardi è soggetta la trasmissione del segnale orario tramite i mass media? In questo caso, il progresso tecnologico ha penalizzato le prestazioni. La radio e la televisione sono nate impiegando la tecnologia analogica. La voce del cronista viene convertita in un segnale elettrico da parte del microfono, alla cui uscita è presente una differenza di potenziale proporzionale alla pressione delle onde acustiche. Il segnale elettrico è trasmesso a distanza tramite cavi, amplificatori ed è diffuso via radio tramite onde elettromagnetiche. La radiodiffusione richiede che lo spettro del segnale elettrico originariamente ottenuto dal microfono sia traslato (in modo lineare o non lineare) a frequenze più elevate tramite il processo di modulazione [12, 13] (intorno a 0,5 MHz ... 1,5 MHz per la diffusione in onde medie usando la modulazione di ampiezza [12]; intorno a 87,5 MHz ... 108 MHz per la diffusione in banda VHF usando la modulazione di frequenza [13]). Il segnale di alta frequenza viene irradiato dall'antenna trasmittente. L'antenna ricevente presente nel ricevitore, rende disponibile ai suoi morsetti una differenza di potenziale proporzionale a quella applicata all'antenna trasmittente, cioè al segnale modulato (la cui ampiezza può scendere a valori dell'ordine del  $\mu$ V), ma a tale tensione si sommano molti altri contributi, quali i segnali trasmessi-

si da altre emittenti e il rumore. Filtri ed amplificatori provvedono all'eliminazione delle frequenze indesiderate (sia dei segnali trasmessi dalle altre emittenti, che del rumore) e ad aumentare l'ampiezza del segnale che, raggiunti livelli dell'ordine del volt, può essere introdotto al demodulatore, dal quale si ottiene la tensione ad audiofrequenza, proporzionale a quella generata dal microfono, che amplificata ed eventualmente nuovamente filtrata può essere applicata all'altoparlante. Questo insieme di processi introduce ritardi pressoché inapprezzabili (la modulazione e la demodulazione sono essenzialmente istantanee, i filtri ritardano complessivamente pochi ms), a meno del tempo di propagazione delle onde elettromagnetiche, comunque molto contenuto (3,33 ms ogni 1000 km) e del tempo che impiega il suono a percorrere la distanza che lo separa dalla bocca del cronista al microfono, e la distanza dall'altoparlante del ricevitore all'orecchio dell'ascoltatore (alcuni ms). Le considerazioni appena formulate evidenziano come una diffusione del segnale orario tramite la radiodiffusione permetteva, con tecnologia analogica, una regolazione degli orologi dell'utente con la precisione dell'ordine del secondo. Poiché una rete di diffusione nazionale utilizza gli stessi processi sopra descritti, ripetuti più volte (ma non più di qualche decina) tramite reti di ripetitori, ne consegue che il segnale orario originariamente diffuso dalla RAI giungeva a noi senza ritardi apprezzabili. L'uso della televisione non peggiorava le cose: la trasmissione dell'audio avveniva esattamente come per la radio (impiegando la modulazione di frequenza), il segnale video serviva a pilotare il *pennello elettronico* che esplorava a zig-zag lo schermo fluorescente del tubo a raggi catodici del ricevitore, con un'intensità variabile, in modo da *dipingere* sullo schermo televisivo 25 immagini al secondo [14]. Il ridotto numero di fotogrammi al secondo limitava la risoluzione temporale, e quindi la precisione, dell'orologio rappresentato sullo schermo con un errore dell'ordine del decimo di secondo. Le frequenze usate per la diffusione televisiva erano comprese fra 50 MHz e 80 MHz, fra 170 MHz e 230 MHz e fra 470 MHz e 860 MHz. La precisione dell'ora esatta è stata compromessa da due grandi rivoluzioni tecnologiche: l'uso dei satelliti geostazionari e l'avvento della tecnologia digitale.

### **5. La diffusione dell'ora esatta con la radiotelevisione satellitare e digitale**

L'era aerospaziale ha fornito un grande contributo alle telecomunicazioni tramite l'impiego dei satelliti artificiali, che dalle loro quote orbitali permettono di ripetere i segnali provenienti dalle stazioni terrestri, diffondendoli con una sola antenna su un territorio molto ampio. Per consentire ad un satellite di mantenere una posizione fissa rispetto ad un osservatore terrestre, si deve utilizzare l'unica orbita sincrona che è ubicata a circa 35800 km di quota e giace sul piano dell'equatore. I satelliti ubicati in tale orbita si chiamano geostazionari e, come è prevedibile, tale orbita è particolarmente affollata. I satelliti per la diffusione televisiva e radiofonica sono sincroni e, alle latitudini italiane, distano da noi circa 38000 km. Il segnale trasmesso dall'emittente verso il satellite viene amplificato da questo, traslato in frequenza e ritrasmesso verso la Terra. Il percorso del segnale vale circa 76000 km a cui corrisponde un ritardo di 0,25 s, ancora inferiore al secondo, ma già apprezzabile. Un notevole incremento del ritardo è stato introdotto dalle tecniche digitali con le quali non si trasmette più il segnale audio e/o video, ma l'informazione su come ricostruirlo. Nel caso dell'audio, il segnale elettrico riprodotto dal microfono viene campionato e ogni campione può essere quantizzato e rappresentato con un certo numero di bit (tipicamente 8 o 16, più raramente 24). In questo modo operano i più semplici registratori di suoni dei computer, quando generano ad esempio i file di tipo wav [15], così come la registrazione su compact disc audio (CD), nella sua versione nativa, dove due segnali musicali (uno per il canale sinistro, l'altro per il canale destro in un contesto

stereofonico) sono campionati ad un rateo di 44100 campioni al secondo e ogni campione è quantizzato e rappresentato con 16 bit. Sul CD sono scritti quindi  $44100 \times 16 \times 2 = 1411200$  bit/s e la memorizzazione di 4440 secondi di musica (74 minuti) richiede una capacità di memorizzazione di  $1411200 \text{ bit/s} \times 4440 \text{ s} = 6265728000 \text{ bit} = 747 \text{ MByte}^1$ . Dai calcoli appena effettuati si deduce come la trasmissione dello stesso segnale avverrebbe con un tasso di emissione di bit pari a  $1411200 \text{ bit/s}$ , un valore piuttosto elevato per una trasmissione senza fili utilizzata per soli due canali audio. Per quanto riguarda il video, la televisione analogica utilizzava in Italia 625 linee, lo schermo aveva una larghezza pari a  $4/3$  dell'altezza, cosicché rappresentando ciascuna immagine in pixel si ottengono  $625 \times (625 \times 4/3)$  elementi, cioè  $625 \times 833$  pixel che possiamo ricondurre alla risoluzione standard di  $800 \times 600 = 4,8 \times 10^5$  pixel. Una riproduzione fedele dei colori richiede di codificare ogni pixel con 24 bit, pertanto ogni immagine viene rappresentata tramite  $24 \times 4,8 \times 10^5 \text{ bit} = 11,52 \times 10^6$  bit. La trasmissione di 25 immagini al secondo richiede un tasso di emissione dei bit pari a  $25 \times 11,52 \times 10^6 = 288 \times 10^6 = 288 \text{ Mbit/s}^1$ , un valore elevatissimo, che ha impedito lo sviluppo della televisione digitale fino alla nascita e standardizzazione di efficienti compressori audio/video. Un compressore audio o video è un programma o algoritmo che riduce la quantità di memoria necessaria per memorizzare un brano, sfruttando da un lato le ridondanze che ci sono fra campioni di segnale vicini (audio) e fra immagini consequenziali (video), dall'altro lato considerando come i nostri organi di senso ed il cervello percepiscono il suono e le immagini ed eliminando alcune caratteristiche non percepibili o quasi. Utilizzando entrambe le tecniche è possibile ridurre la quantità di bit necessaria per rappresentare un flusso audio di diverse decine di volte e un flusso video di diverse centinaia di volte. Attualmente la televisione digitale terrestre usa lo standard MPEG-2 [16], che permette la codifica di un flusso video di qualità superiore a quella del sistema analogico, con tassi di emissione dei bit di pochi Mbit/s e i relativi flussi audio con tassi di circa 100 kbit/s. La codifica MPEG-2 dell'audio fa parte dello standard MPEG-2.3 noto come mp3. Tali codificatori impiegano algoritmi molto complessi, che per funzionare con tale efficienza hanno bisogno di segmenti di file audio opportunamente lunghi e di numerose immagini, che vengono elaborate per ridurre il numero di bit necessari per la trasmissione. Il dover disporre di numerose immagini prima di poter effettuare la codifica, si traduce in un ritardo che, sommato al tempo impiegato dal codificatore e decodificatore per effettuare la co/decodifica, può superare il secondo. Ne consegue che l'impiego di sistemi digitali per la trasmissione di video e suono introduce oggi ritardi apprezzabili, che rendono imprecisa l'ora esatta. Non sono rari i casi in cui i ripetitori disseminati su una nazione, diffondano i segnali ricevuti dai satelliti geostazionari. Ciò rende infatti la realizzazione dei sistemi di ripetizione più semplice, non essendo necessaria una rete terrestre per fare giungere i segnali ai ripetitori: il ritardo aumenta. Nelle pagine teletext attualmente diffuse dalla televisione digitale terrestre, l'ora esatta è ulteriormente ritardata (fino a 5...6 s) per motivi menzionati nel Paragrafo 3. Con l'introduzione della televisione digitale, la precisione del secondo nella regolazione degli orologi dei telespettatori è andata in molti casi perduta: se da un lato il sistema trasmissivo digitale e satellitare è ancora in grado di contenere il ritardo intorno al secondo, maggior tempo è speso nelle complesse procedure di elaborazione grafica e codifica svolte dai computer delle emittenti televisive e, seppur in forma più ridotta, nei decodificatori degli apparecchi degli utenti.

## 6. Il ritardo nella diretta televisiva

Il ritardo introdotto dai codificatori audio e video trasforma ogni *diretta* televisiva o radiofonica in una trasmissione in (lievissima) differita. Ulteriori la-

tenze sono intenzionalmente introdotte dagli studi televisivi per consentire l'immediata censura (es: l'inibizione di una "parolaccia"). Questo ritardo è per noi ininfluenza, salvo alcuni casi particolari: uno di questi si verifica a Capodanno, dove i telespettatori stappano la bottiglia di spumante qualche secondo dopo la mezzanotte, a causa della ricezione del segnale in ritardo. Altri casi degni di attenzione riguardano eventi sportivi di particolare rilievo: l'esito di un calcio di rigore che ci rende campioni d'Europa o del Mondo lo acquisiamo ritardato dalla TV.

Nella notte di San Silvestro fra l'anno 2011 e il 2012, il Liceo "Mazzini" di Genova ha misurato il ritardo con cui è stato scandito il Capodanno da un'emittente nazionale, rispetto all'indicazione fornita da un orologio radiocontrollato, dopo averne verificato il perfetto allineamento sia con l'ora indicata da un ricevitore GPS sia quella ottenuta tramite NTP. È stato misurato un ritardo di  $2,84 \pm 0,04$  s; la misura è stata effettuata riprendendo con telecamera analogica l'indicazione dell'orologio radiocontrollato e l'ora proiettata nello studio televisivo; le misurazioni sono state quindi effettuate rivedendo la registrazione fotogramma per fotogramma, che ha rappresentato l'unità di misura del tempo. I dettagli dell'esperimento sono riportati in [17]. L'esperimento ha suscitato l'attenzione del quotidiano "Il Secolo XIX" e della trasmissione televisiva "Unomattina" di RAI 1; entrambe le redazioni hanno dedicato uno spazio considerevole all'evento, citandolo con esemplare serietà.

Senza dover attendere Capodanno, possono essere effettuati alcuni semplici, ma curiosi, esperimenti che permettono di evidenziare le latenze nelle trasmissioni in cui sono usati compressori video e/o audio: durante un importante evento sportivo, la cronaca la riceviamo sia via radio che attraverso la TV. Poiché attualmente la radiodiffusione in modulazione di frequenza è ancora ampiamente utilizzata, probabilmente se ascoltiamo la telecronaca sia via radio che con la TV, percepiamo un piccolo disallineamento fra i due flussi informativi. Se effettuiamo una telefonata ad una persona accanto a noi con il telefono cellulare, possiamo osservare che la voce riprodotta dall'apparecchio è in leggero ritardo.

## 7. Conclusioni

Con l'introduzione della televisione digitale terrestre e satellitare, riceviamo da questa il segnale orario ritardato di alcuni secondi. Ciò è principalmente dovuto sia agli algoritmi di compressione dei segnali audio e video, sia al ritardo di propagazione associato ai collegamenti satellitari. A seguito della riproduzione ritardata del video e dell'audio da parte dei ricevitori, anche la diretta televisiva risulta in realtà lievemente differita compromettendo il festeggiamento del Capodanno all'istante giusto. Nel giungere a motivare questo fenomeno, l'articolo fornisce alcuni spunti di approfondimento su diversi temi.

Si ringraziano le redazioni del quotidiano "Il Secolo XIX" di Genova e della trasmissione Unomattina di RAI 1 per lo spazio che hanno dedicato, negli ultimi giorni di dicembre 2011, alla notizia sulla ricezione ritardata dello scoccare della mezzanotte in occasione dell'allora imminente Capodanno 2012. Entrambe le redazioni hanno diffuso la notizia con uno stile che ha dato un'immagine di elevata serietà e professionalità alla scuola italiana.

Un particolare ringraziamento è rivolto al Dr. Valerio Pettiti, responsabile del laboratorio Tempo e Frequenza dell'INRIM (Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, Torino) che, in fase di revisione di questo articolo, ha fornito preziose precisazioni ed informazioni integrative.

**Note** <sup>1</sup> Il prefisso M davanti al Byte è da intendersi  $10^{20}$  Byte = 1024 KByte =  $1024 \times 1024$  Byte; la stessa lettera M davanti al bit/s è da intendersi mega ( $10^6$ ).

### Sitografia

- [1] <http://www.adjora.it/orologeria/precisione.html>
- [2] <http://www.inrim.it>
- [3] <http://www.bipm.org>
- [4] <http://www.bipm.org/en/scientific/tai/>
- [5] <http://it.wikipedia.org/wiki/Secondo>
- [6] <ftp://ftp2.bipm.org/pub/tai/publication/leapstab.pdf>
- [7] [http://www.arcetri.astro.it/~ranfagni/CD/CD\\_TESTI/FUSI\\_O.HTM](http://www.arcetri.astro.it/~ranfagni/CD/CD_TESTI/FUSI_O.HTM)
- [8] <http://leapsecond.com/java/gpsclock.htm>
- [9] <http://www.ipses.com/prod/timing/UTC-GPS.php?language=it>
- [10] [http://it.wikipedia.org/wiki/Network\\_Time\\_Protocol](http://it.wikipedia.org/wiki/Network_Time_Protocol)
- [11] <http://www.horlogeparlante.fr/it/>
- [12] [http://www.dti.unimi.it/liberali/teoriasegnali/tds\\_a\\_10\\_2p.pdf](http://www.dti.unimi.it/liberali/teoriasegnali/tds_a_10_2p.pdf)
- [13] [http://www.dti.unimi.it/liberali/teoriasegnali/tds\\_a\\_11\\_2p.pdf](http://www.dti.unimi.it/liberali/teoriasegnali/tds_a_11_2p.pdf)
- [14] [http://www.ipsiamoretto.it/utenti/azzani/public\\_html/2005-5bz/morelli\\_moraschi\\_falcone/presentazione-html/tele.htm](http://www.ipsiamoretto.it/utenti/azzani/public_html/2005-5bz/morelli_moraschi_falcone/presentazione-html/tele.htm)
- [15] <http://www.sonicspot.com/guide/wavefiles.html>
- [16] <http://telemat.die.unifi.it/book/Internet/Sgml/indmpeg.htm>
- [17] <http://www.licomazzini.it/oraesatta/oraesatta.htm#risultati>

Per interpretare i risultati delle esperienze sulla diffusione dei raggi  $\alpha$  nella materia, Rutherford<sup>1</sup> ha formulato una teoria della struttura dell'atomo. Secondo questa teoria, l'atomo contiene un nucleo carico positivamente, circondato da un sistema di elettroni trattenuti dalle forze attrattive del nucleo. La carica totale negativa degli elettroni è uguale a quella positiva del nucleo. Inoltre il nucleo contiene quasi tutta la massa dell'atomo e le sue dimensioni lineari sono molto piccole in confronto a quelle dell'intero atomo. Il calcolo indica che il numero degli elettroni di un atomo è approssimativamente uguale alla metà del peso atomico. Il notevole interesse di questo modello è chiaramente evidente, in quanto, come Rutherford ha mostrato, l'ipotesi dell'esistenza del nucleo sembra necessaria per interpretare i risultati sperimentali sulla diffusione dei raggi  $\alpha$  secondo grandi angoli.<sup>2</sup> Nel tentativo di chiarire le proprietà della materia sulla base di questo modello dell'atomo, si incontrano però serie difficoltà, che provengono dall'instabilità del sistema elettronico e che non si presentavano, per esempio, nel modello di Thomson.<sup>3</sup> Secondo quest'ultima teoria, l'atomo è costituito da una carica elettrica positiva, uniformemente distribuita in una sfera, entro cui gli elettroni si muovono su orbite circolari. La differenza fondamentale fra il modello di Thomson e quello di Rutherford risiede nella circostanza per cui le forze, che nel modello di Thomson agiscono sugli elettroni, rendono possibile certe configurazioni e movimenti di questi, in corrispondenza dei quali il sistema risulta in equilibrio stabile. Simili configurazioni non esistono evidentemente nel modello di Rutherford. Il carattere della differenza risulta forse più chiaro se si tiene presente che tra le grandezze che caratterizzano il primo atomo ne compare una, il raggio della sfera positiva, avente le dimensioni di una lunghezza e dello stesso ordine delle dimensioni lineari dell'atomo, mentre una tale lunghezza non compare tra le grandezze che caratterizzano il secondo atomo, cioè le cariche e le masse degli elettroni e del nucleo positivo, né può venire determinata in base a queste sole grandezze. La trattazione di questo problema ha però subito negli ultimi anni modificazioni sostanziali, soprattutto grazie allo sviluppo della teoria della radiazione termica e alle conferme dirette delle nuove ipotesi introdotte da questa teoria, ottenute attraverso lo studio dei fenomeni più diversi, come calore specifico, effetto fotoelettrico, raggi X, ecc. Il risultato della discussione di questi problemi sembra essere, come si ammette quasi unanimemente, che l'elettrodinamica classica non è applicabile alla descrizione dei fenomeni atomici.<sup>4</sup> Quali che possano essere le nuove equazioni del moto degli elettroni, sembra necessario introdurre una grandezza estranea all'elettrodinamica classica, e cioè la costante di Planck o, come spesso viene chiamata, il quanto elementare di azione. L'introduzione di questa grandezza modifica sostanzialmente la questione della stabilità delle configurazioni elettroniche dell'atomo, in quanto le dimensioni e il valore di questa costante sono tali che essa può, insieme alla massa e alla carica delle particelle, servire a determinare una lunghezza dell'ordine di grandezza richiesto. La presente trattazione vuol essere un tentativo inteso a dimostrare che l'applicazione delle idee summenzionate al modello atomico di Rutherford può costituire la base per una teoria della costituzione dell'atomo. Si mostra che da questa si è condotti a una teoria della costituzione delle molecole. [...] Con l'occasione desidero ringraziare il professor Rutherford per il suo interesse amichevole a questo lavoro e per il suo incoraggiamento.

*Sulla costituzione degli atomi e delle molecole* (1913), da:  
N. Bohr, *Teoria dell'atomo e conoscenza umana*, Boringhieri 1961

1. E. Rutherford, *Phil. Mag.* 21, 669 (1911).

2. Cfr. anche Geiger e Marsden, *Phil. Mag.* (aprile 1913).

3. J. J. Thomson, *Phil. Mag.* 7, 237 (1904).

4. Cfr., per esempio, *Théorie du rayonnement et les quantes*, Rapp. Conf. Bruxelles, nov. 1911 (Parigi 1912).