



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA NUMERO	102007901539146
Data Deposito	06/07/2007
Data Pubblicazione	06/01/2009

Titolo

**METODO ED APPARECCHIATURA PER L'ISPEZIONE DINAMICA NON A CONTATTO DELLE
ROTAIE FERROVIARIE.**

DESCRIZIONE

dell'invenzione avente per titolo:

"Metodo ed apparecchiatura per l'ispezione dinamica non a contatto delle rotaie ferroviarie"

della TECNOGAMMA S.p.A. a Badoere di Morgano (Treviso)

depositata il 6 luglio 2007 presso la Camera di Commercio dell'Industria, dell'Artigianato e dell'Agricoltura di Venezia.

La presente invenzione concerne un metodo ed un'apparecchiatura per l'ispezione dinamica non a contatto delle rotaie ferroviarie.

Sono noti metodi ed apparecchiature per l'ispezione dinamica delle rotaie ferroviarie.

Sono note in particolare apparecchiature usate per l'ispezione dinamica delle rotaie, basate sull'utilizzazione di ultrasuoni a contatto e comprendenti trasduttori piezoelettrici angolati a 0°, 45° e 70°, disposti all'interno di ruote riempite di liquido e mantenute in continuo contatto di rotolamento con la superficie della rotaia. All'interfaccia ruota portasonda/rotaia viene spruzzata l'acqua per garantire la trasmissione degli ultrasuoni dal dispositivo alla rotaia e viceversa.

Le ruote portasonda sono montate su un carrello che garantisce meccanicamente il centraggio sulle rotaie e la velocità di ispezione dipende principalmente dalle condizioni dei binari, ed è mediamente di circa 28 km/h.

La sezione della rotaia ispezionabile con queste note apparecchiature è limitata alla zona centrale che va dal fungo alla suola, poiché le onde ultrasonore possono essere introdotte solo dalla superficie superiore della rotaia.

L'analisi dei segnali per l'individuazione dei difetti viene effettuata monitorando gli echi creati da eventuali discontinuità volumetriche.

Inconvenienti di queste note apparecchiature e dei metodi da queste utilizzati consistono:

- nella necessità di impiegare un mezzo di accoppiamento (acqua o soluzione con antigelo per basse temperature) per la trasmissione degli ultrasuoni dal trasduttore alla rotaia e viceversa,
- nell'elevato numero di false segnalazioni di difetti,

- nella limitata area di rotaia ispezionabile,
- nella limitata tipologia di difetti rilevabili,
- nell'influenza della condizione superficiale della rotaia.

Sono anche note apparecchiature e metodi per effettuare l'ispezione dinamica non a contatto delle rotaie ferroviarie.

US 2004/0003662 descrive un metodo per l'ispezione non a contatto di una rotaia basato sul principio della generazione di ultrasuoni con fronte d'onda e frequenza controllabili al fine di essere sensibili a determinati tipi di difetti delle rotaie. L'apparecchiatura per attuare il metodo comprende un laser pulsato, con ottica di focalizzazione, un ricevitore non a contatto ed un elaboratore del segnale acquisito dal ricevitore.

Il documento descrive due specifiche situazioni di difetto interno nel fungo della rotaia, rilevabile con l'utilizzazione di una sorgente laser circolare, e di difetto superficiale nella suola della rotaia, rilevabile con l'utilizzazione di una sorgente laser rettangolare.

E' anche noto dal rapporto RR05-07 della Federal Railroad Administration (Mahmood F., "On-line high speed rail defect detection - phase III", US-FRA rapport RR05-07, 2005) un metodo ad ultrasuoni non a contatto per il rilevamento dei difetti trasversali del fungo della rotaia, basato su onde guidate, ed utilizzante algoritmi di elaborazione dei segnali, in grado di eliminare il rumore e di estrarre le informazioni relative ai difetti.

La generazione degli ultrasuoni è effettuata con un laser e la ricezione con traduttori capacitivi. L'analisi delle onde trasmesse e riflesse utilizza indici di danneggiamento e consente di valutare la dimensione del difetto tramite reti neurali artificiali.

Ulteriori dettagli sul metodo ora richiamato, sull'apparecchiatura utilizzata e sui risultati ottenuti sono forniti nel documento Lanza di Scalea F. Rizzo P., Coccia S., Bertolini I. and Fateh M. "Laser bar air-coupled hybrid non-contact system for defect detection in rail tracks: status of FRA Prototype development at UC San Diego" presentato al Transportation Research Board Meeting del 2006.

E' inoltre noto da T.R. Hay, D.R. Hay, Don Plotking, GM Lee, J.L. Rose "Rail defect detection under shelling" <http://www.wellsingsolids.com/publication/hayT1.ptf> un metodo di ispezione ad ultrasuoni non a contatto, con trasduttori elettromagnetici acustici (EMAT), per il rilievo di difetti trasversali nel fungo sotto difetto superficiale (shelling) tramite l'uso di onde guidate.

Scopo dell'invenzione è di proporre un metodo ed un'apparecchiatura per l'ispezione dinamica non a contatto di rotaie ferroviarie, che rispetto alle soluzioni note offra prestazioni migliori in termini di ripetibilità dei segnali rilevati, di immediatezza di segnalazione di eventuali difetti, di riduzione del numero di false segnalazioni, di insensibilità del rilevamento dallo stato superficiale della rotaia e di automazione della gestione del sistema e dell'interpretazione dei segnali.

Questo scopo ed altri che risulteranno dalla descrizione che segue sono raggiunti, secondo l'invenzione, con un'apparecchiatura per l'ispezione dinamica non a contatto di rotaie ferroviarie, caratterizzata dal fatto di comprendere:

- un carrello ferroviario scorrevole lungo le rotaie da ispezionare,
- un'unità di misura per ciascuna rotaia da ispezionare, montata su detto carrello,

- mezzi di stabilizzazione trasversale di detta unità di misura rispetto alla rotaia da ispezionare,
- almeno una sorgente laser pulsata alimentante detta unità di misura,
- mezzi di guida degli impulsi laser generati da detta sorgente laser,
- mezzi ottici associati a detti mezzi di guida ed in grado di focalizzare detti impulsi laser sulla parte di rotaia da ispezionare,
- almeno un sensore dei segnali ultrasonici generati dall'impatto degli impulsi laser su detta rotaia,
- almeno un computer di acquisizione e di elaborazione dei dati,
- mezzi di localizzazione dei difetti rilevati sulla rotaia ispezionata.

Sempre secondo l'invenzione il procedimento utilizzato dall'apparecchiatura ora descritta comprende le seguenti fasi operative:

- si genera con almeno una sorgente di segnali laser sequenze di impulsi,
- si investe con dette sequenze di impulsi laser i successivi punti di una rotaia sotto ispezione, generando nei punti di impatto onde ultrasoniche, che si propagano lungo la rotaia stessa,
- si rilevano dette onde ultrasoniche con sensori mobili lungo la rotaia stessa, solidalmente alla sorgente di segnali laser, ed in grado di trasformarle in segnali elettrici,
- in base alla conoscenza della dislocazione fisica dei sensori, del prevedibile comportamento teorico della propagazione delle onde ultrasoniche e della lento-varianza del fenomeno di propagazione delle stesse lungo la rotaia, si estraggono da ciascun segnale porzioni di segnale rappresentative delle differenti onde ultrasoniche di interesse,

- si associa a ciascuna onda ultrasonica di interesse una serie di parametri rappresentativi delle caratteristiche dell'onda stessa, ottenendo insiemi di parametri che la caratterizzano nell'istante di campionamento,
- si confronta ciascun insieme di parametri con corrispondenti insiemi memorizzati in un database e corrispondenti alle varie tipologie di difetti,
- in caso di riscontro positivo si determina il punto della rotaia nel quale il difetto è stato rilevato.

La presente invenzione viene qui di seguito ulteriormente chiarita in una sua preferita forma di pratica realizzazione, riportata a scopo puramente esemplificativo e non limitativo con riferimento alle allegate tavole di disegni, in cui:

- la figura 1 mostra schematicamente un veicolo ferroviario provvisto di carrello di ispezione sollevato, in condizione inattiva,
- la figura 2 lo mostra nella stessa vista di fig. 1 con il carrello di ispezione abbassato, in condizione operativa,
- la figura 3 lo mostra in una variante realizzativa, nella condizione illustrata in fig. 1,
- la figura 4 lo mostra in una variante realizzativa, nella condizione illustrata in fig. 2,
- la figura 5 mostra un particolare ingrandito di fig. 4,
- la figura 6 mostra in sezione trasversale una rotaia, alla quale sono associati due dispositivi di triangolazione laser per il rilevamento del profilo completo della rotaia,
- la figura 7 mostra in sezione trasversale ingrandita una rotaia, nella quale sono indicati tre punti di impatto degli impulsi laser per l'ispezione della rotaia stessa,

le figure 8a - 8c mostrano in sezione trasversale schematica il sistema di rilevamento di difetti presenti nel fungo di una rotaia,

le figure 9a - 9b mostrano in sezione trasversale schematica il sistema di rilevamento di difetti presenti nel gambo, nella zona centrale del fungo e nella suola di una rotaia,

la figura 10 mostra in sezione trasversale schematica una configurazione minima di terminazioni laser e di sensori per effettuare l'ispezione completa di una rotaia,

la figura 11 mostra il layout dei vari componenti hardware e dei loro collegamenti,

la figura 12 mostra l'andamento del segnale ultrasonico rilevato da un sensore in risposta ad un impulso laser che impatta sulla superficie di una rotaia,

la figura 13 mostra l'involuppo del segnale di figura 12,

la figura 14 mostra il corrispondente visivo di un insieme di caratteristiche delle onde rilevate, e

la figura 15 mostra il segnale elaborato dal sistema al rilevamento di un difetto sulla rotaia.

Come si vede dalle figure l'apparecchiatura secondo l'invenzione comprende un veicolo 2 mobile lungo le rotaie 4 del binario da ispezionare. Al veicolo è associato un carrello 6, che è mobile tra una condizione inattiva durante i trasferimenti del veicolo 2 (cfr. figg. 1 e 3) ed una condizione operativa di ispezione (cfr. figg. 2 e 4).

Il veicolo 2 può essere un veicolo esclusivamente ferroviario, e cioè destinato a muoversi esclusivamente lungo le rotaie, oppure può essere di tipo ibrido, e cioè in grado di muoversi sia su rotaie che su strada.

A seconda dei casi il carrello può essere posizionato nella parte posteriore del veicolo 2 ed essere ribaltabile tra una posizione verticale inattiva, sollevata dalle rotaie 4 (cfr. fig. 1) ed una posizione orizzontale operativa appoggiata con ruote 8 alla rotaia stessa (cfr. fig. 2); oppure può essere posizionato al di sotto del veicolo ed essere mobile verticalmente tra una posizione inattiva sollevata (cfr. fig. 3) ed una posizione operativa abbassata (cfr. fig. 4).

All'interno del veicolo 2 è installata una sorgente laser 10, che comprende una testa laser 14 montata su supporti con smorzatori, che evitano la trasmissione alla sorgente laser stessa delle vibrazioni meccaniche, cui inevitabilmente il veicolo ferroviario 2 è soggetto durante il suo avanzamento lungo le rotaie 4. La sorgente laser 10 comprende anche un alimentatore 16 ed un'unità di raffreddamento 18.

Sul carrello 6 è invece montata, per ciascuna rotaia 4, una unità di misura, indicata globalmente con 12. Nel caso sia richiesta l'ispezione di entrambe le rotaie 4, sono previste due unità di misura 12, ciascuna operante su una rotaia 4.

E' anche previsto, nel caso il carrello 6 abbia dimensioni idonee, che la sorgente laser 10 sia montata su questo.

Il carrello 6 è provvisto di un dispositivo di autocentraggio che ha la funzione di mantenere centrato il carrello stesso rispetto alle rotaie 4, e quindi la posizione di ciascuna unità di misura 12 rispetto alla corrispondente rotaia 4.

Il dispositivo di autocentraggio è di per sè tradizionale, indipendentemente dal fatto che sia di tipo meccanico o di tipo idraulico, e non costituisce oggetto dell'invenzione.

Alla testa laser 14 sono associate guide ottiche 20, ciascuna comprendente una terminazione di ingresso, accoppiata alla sorgente laser 10 ed una terminazione di uscita 22, affacciata alla rotaia 4 da ispezionare e provvista di una lente di focalizzazione 24.

A seconda della natura dei rilevamenti da effettuare, può essere previsto un numero differente di guide ottiche 20, che ai fini della presente invenzione possono essere costituite sia da guide ottiche tradizionali, sia da fibre ottiche.

Nel caso di ispezione completa della rotaia 4 può essere preferibile avere per ciascuna unità di misura tre guide ottiche 20, delle quali una ha la terminazione d'uscita 22 rivolta orizzontalmente verso il fungo 26 della rotaia 4 e le altre due hanno la terminazione d'uscita 22 verticalmente affacciata ad entrambe le estremità della suola 28 della rotaia.

Nel veicolo 2 sono inoltre installati un GPS 30, avente la funzione di localizzare con una certa precisione, anche in assenza di riferimenti esterni, la posizione del veicolo 2 sulle rotaie 4, all'inizio dell'ispezione, ed inoltre un encoder 32, di tipo ottico o magnetico, per rilevare la distanza tra la posizione del veicolo 2 all'inizio dell'ispezione e la posizione in cui è stato rilevato un difetto nella rotaia stessa, e quindi per rilevare la posizione di tale difetto.

Sempre a bordo del veicolo 2 è anche installato un computer 34 per la elaborazione ed il salvataggio dei dati nonché per il controllo e la gestione dell'intero funzionamento dell'apparecchiatura.

Allo scopo di limitare la potenza della sorgente laser, è previsto a bordo del veicolo 2 un sistema idrico comprendente degli spruzzatori in grado di investire con getti nebulizzanti i punti di rotaia 4 affacciati alle terminazioni 22 delle guide ottiche 20.

Ciascuna unità di misura comprende anche una pluralità di sensori 36,38,40, posizionati ad apposita distanza dalla superficie della rotaia 4 ed in grado di rilevare le onde dirette, quelle riflesse e quelle diffratte da eventuali discontinuità volumetriche e superficiali.

Ai sensori 36,38,40 sono associati amplificatori a guadagno variabile per ciascuna componente del segnale e filtri per la separazione delle componenti spurie dei segnali.

Sul carrello 6 sono inoltre montati dispositivi rilevatori di corpi estranei, che in particolare possono essere costituiti dai tradizionali dispositivi a triangolazione laser, in grado di leggere il profilo della rotaia e quindi di rilevare la presenza delle barre di giunzione nei tratti terminali della rotaia, dei fori di fissaggio nel gambo 42, di saldature, e di attacchi od ostacoli sulla suola 28 della rotaia 4.

Il funzionamento dell'apparecchiatura secondo l'invenzione, che negli esempi raffigurati prevede, come si è detto, l'invio di tre fasci laser orizzontalmente sul fungo 26 della rotaia 4 e verticalmente alle due estremità della sua suola 28, risulta più chiaramente se si fa riferimento a ciascun fascio laser ed ai sensori 36,38,40 applicati all'unità di misura 12 e posti ad una certa distanza dalla rotaia 4.

Con riferimento alle tre figure 8a-8c, in queste è illustrato il sistema di rilevamento degli impulsi laser diretti dalla sorgente laser 10 sul fungo 26 della rotaia 4 e rilevati dai sensori 36 e 38. Più particolarmente in fig. 8a è illustrata la propagazione delle onde longitudinali L e trasversali T nel volume del fungo 26 e la propagazione delle onde superficiali S lungo la superficie di questo. In assenza di discontinuità interna o superficiale le onde non subiscono variazioni ed il sensore 36 riceve le onde riflesse dalla superficie

opposta della rotaia, mentre il sensore 38 riceve le onde trasmesse (di volume L e di superficie S). Nel caso il fungo 26 della rotaia presenti una discontinuità interna o difetto 44 (cfr. fig. 8b) le onde di volume L e T vengono riflesse dal difetto stesso (onde R) e rilevate dal sensore 36 prima delle onde riflesse dalla superficie opposta della rotaia. Il sensore 38 rileva invece le onde longitudinali di volume, attenuate dal difetto 44, e le onde superficiali S non attenuate.

Analogamente, nel caso di difetto superficiale 46 (cfr. fig. 8c) il sensore 36 riceve l'onda superficiale R riflessa dal difetto 4, mentre il sensore 38 riceve l'onda superficiale A attenuata.

I sensori 36 e 38 possono essere posizionati nella stessa sezione trasversale della rotaia 4, in cui incide il fascio laser, ma anche ad una certa distanza in direzione longitudinale da questa. Entro certi limiti la distanza tra i sensori 36 e 38 e la rotaia 4 può essere qualsiasi.

E' evidente che questa modalità di funzionamento consente di rilevare i difetti presenti in qualsiasi zona del fungo 26.

Con riferimento alle figg. 9a e 9b, in queste è schematizzata la modalità di funzionamento, che consente di rilevare qualsiasi difetto interno e/o superficiale sul lato della suola 28 della rotaia 4, in corrispondenza della quale è applicato il fascio laser, sul gambo 42 della rotaia e sulla parte centrale del fungo 26.

Anche in questo caso il comportamento dell'apparecchiatura secondo l'invenzione è differente a seconda che vi sia assenza di difetti o presenza di difetti nel tratto di rotaia in esame.

Secondo la presente modalità di funzionamento la sorgente laser 10 è posta in prossimità di una estremità della suola 28 della rotaia 4 ed è orientata

in modo da inviare un impulso laser verticalmente rispetto a detta suola. Il sensore 40 è invece posto con l'asse verticale al di sopra della superficie del fungo 26, ad una certa distanza da questo.

In assenza di difetti interni o superficiali, le onde non subiscono variazioni ed il sensore 40 riceve le onde di volume L e di superficie S, che si propagano dalla suola 28 fino alla superficie superiore del fungo 26.

Se invece è presente un difetto interno 44 od un difetto superficiale, le onde di volume L (nel primo caso) o le onde di superficie S (nel secondo caso) sono attenuate in relazione all'entità del difetto.

E' evidente che questa modalità di funzionamento consente di ispezionare con un unico impulso laser un lato della suola 28, il gambo 42 e la zona centrale del fungo 26, ed è parimenti evidente che se l'unità di misura 12 utilizza due terminazioni laser 22 poste alle due estremità della suola 28 ed orientate verticalmente ed una terza terminazione 22 orientata orizzontalmente verso il fungo 26 della rotaia, è possibile ispezionare con un unico impulso laser l'intera rotaia 4.

I segnali acquisiti dai sensori vengono poi amplificati con guadagni variabili per ciascuna componente e filtrati.

Naturalmente, a seconda dei tipi e della localizzazione dei difetti che si intendono rilevare, varia il numero e la disposizione sia delle terminazioni 22 che inviano gli impulsi laser sulla rotaia 4, sia la disposizione e l'orientamento dei sensori 36, 38 e 40 che rilevano le onde ultrasoniche.

Per una completa ispezione della rotaia 4 è vantaggioso utilizzare la configurazione minima, illustrata in figura 10 e comprendente le terminazioni laser 22 illustrate in figura 5 e quattro sensori 36, 38, 40, 41. Di questi, due sensori 41 sono disposti ai due lati della rotaia 4 e sono rivolti verticalmente

verso le due ali della suola 28 per rilevare difetti in queste presenti, un terzo sensore 40 è affacciato verticalmente alla superficie superiore del fungo 26 della rotaia 4 per rilevare difetti nel gambo 42 della rotaia e nella parte centrale del fungo 26 e della suola 40; ed un quarto sensore 38 è rivolto verso la superficie laterale del fungo, opposta a quella affacciata alla terminazione laser 22 orizzontale.

Nella fig. 11 è indicato il layout dell'apparecchiatura. I collegamenti usati sono di tipo wireless/Ethernet, TCP/IP, di tipo a fibre ottiche e di tipo con cavo.

E' preferibile utilizzare tre distinti computer, rispettivamente per l'acquisizione dei segnali e per la loro elaborazione, per la supervisione e per il loro salvataggio.

Come si è detto, sul veicolo 2 viene installato un GPS 30 per individuare la posizione del veicolo e ciò può essere utilizzato sia per individuare la posizione del difetto, sia la posizione del veicolo 2 all'inizio dell'ispezione.

Inoltre sul veicolo 2 viene installato un encoder 32 di tipo ottico o magnetico per definire la distanza percorsa dal veicolo stesso dell'inizio dell'ispezione, e quindi per localizzare in maniera accurata la posizione dei difetti eventualmente rilevati.

L'invenzione propone anche un originale metodo per rilevare l'eventuale presenza di difetti su una rotaia 4, utilizzando sequenze di impulsi laser "sparati" dalle terminazioni 22 delle guide ottiche 20 associate alla sorgente laser 10, ad una frequenza preferita di 150 hertz.

Ciascun impulso laser, che impatta sulla superficie del fungo 26 della rotaia 4, genera onde ultrasoniche, che si propagano lungo la rotaia stessa.

Esse si distinguono in onde di volume longitudinali L e trasversali T ed in onde di superficie S. Esse nel loro insieme generano una forma d'onda complessa, che viene rilevata dal sensore 38 e trasformata in segnali elettrici.

Anche gli altri sensori rilevano differenti forme d'onda a seguito dell'impatto degli impulsi laser su altri punti della superficie della rotaia 4.

In figura 12 è fornito un esempio di traccia ultrasonica ricevuta da un singolo sensore 38 nell'intervallo di tempo considerato (ad esempio 100 microsecondi).

Preferibilmente il sistema di elaborazione provvede dapprima a trasformare ciascun segnale ultrasonico nel corrispondente inviluppo, illustrato in figura 13. In questo si riconoscono i differenti "pacchetti" d'onda, rappresentanti i differenti tipi di onde (longitudinale L e superficiale S) che passano davanti al sensore 38. Poiché peraltro il sensore rileva anche onde spurie dovute a fenomeni non di interesse (ad esempio riflessioni, segnali in aria, ecc...), il sistema provvede ad estrarre dal segnale le onde di interesse ed a scartare quelle non di interesse. Ciò viene effettuato sulla base di considerazioni teoriche e/o sperimentali, che tengono conto della dislocazione fisica dei sensori, del prevedibile comportamento teorico del fenomeno di propagazione delle differenti onde ultrasoniche in termini di velocità di propagazione e di attenuazione della propagazione, nonché della lentovarianza del fenomeno di propagazione delle onde tra due punti di ispezione successivi lungo la rotaia 4.

Sulla base di queste considerazioni il programma di elaborazione è in grado di individuare nell'inviluppo le porzioni di segnale corrispondenti alle varie onde (L e S).

Successivamente il programma di elaborazione associa a ciascuna onda una serie di numeri rappresentativi di predeterminate caratteristiche di quell'onda (presenza, ampiezza, estensione, gaussianità, ecc...) e costruisce il corrispondente visivo di un insieme di caratteristiche delle onde rilevate da sei sensori per il fungo 26 (cfr. fig. 14). In questa è rappresentato ai successivi istanti temporali il comportamento del tratto di rotaia che passa davanti al sensore considerato, nel caso di assenza o di presenza di difetto. Si nota in particolare che in assenza di difetto le singole caselle che rappresentano quella certa caratteristica di quell'onda a quell'istante sono chiare, mentre in presenza di una devianza dal comportamento teorico, significativa di una alterazione di comportamento dovuta ad un difetto, sono scure.

Al rilevamento di questa devianza il programma effettua automaticamente un confronto tra l'anomalia rilevata e le anomalie determinate teoricamente o sperimentalmente per le tipologie dei difetti in pratica presenti sulle rotaie.

Quando il sistema rileva una somiglianza, la cui presenza viene evidenziata da un picco (cfr. figura 15), è in grado di segnalare non solo l'esistenza di quella particolare tipologia di difetto della rotaia, ma anche l'istante temporale di rilevamento e questa informazione, correlata con l'indicazione fornita dall'encoder 32, consente di determinare il punto esatto della rotaia, nel quale il difetto è stato rilevato.

Naturalmente l'informazione è tanto più precisa quanto più accurata è la posizione delle terminazioni e dei sensori rispetto alla rotaia 4.

In pratica si è riscontrato che una completa ispezione della rotaia richiede tre terminazioni 22, in grado di indirizzare tre segnali di impulsi laser

orizzontalmente sul fungo 26 della rotaia e verticalmente alle due estremità della suola 28 e quattro sensori, uno su ciascun lato della suola, uno in corrispondenza del fungo, ed uno in corrispondenza del gambo.

Poiché inoltre la geometria delle rotaie può essere differente, a seconda delle differenti reti ferroviarie od anche a seguito dell'usura delle rotaie stesse, è previsto che la posizione e l'orientamento delle terminazioni laser e dei sensori possa variare, allo scopo di adattarsi alle differenti geometrie di rotaia. Questi adattamenti possono essere effettuati manualmente oppure anche automaticamente, grazie all'uso di idonei attuatori gestiti dal sistema di elaborazione.

Da quanto detto risulta chiaramente che l'apparecchiatura secondo l'invenzione si presenta particolarmente vantaggiosa rispetto alle apparecchiature tradizionali ed in particolare:

- assicura una sostanziale riproducibilità dei segnali rilevati,
- consente di fornire una indicazione in tempo reale sull'integrità della rotaia o sulla presenza di discontinuità,
- riduce il numero di false segnalazione dei difetti,
- è sostanzialmente insensibile allo stato superficiale della rotaia sotto ispezione,
- consente di avere una autonomia di gestione del sistema e di interpretazione dei segnali,
- grazie all'uso delle fibre ottiche o delle guide ottiche elimina problemi di allineamento dei fasci laser,
- grazie alla stazionarietà della sorgente laser 10 nel veicolo 2 rispetto all'unità di misura 12 nel carrello 6 non comporta perdite di potenza nel fascio laser,

- grazie al rilevamento dell'intero profilo della rotaia consente di identificare la presenza di altre parti sulla rotaia e fornisce in questo modo delle indicazioni aggiuntive,
- consente di effettuare l'ispezione della rotaia in condizioni ambientali anche sfavorevoli, con temperature esterne variabili tra $-25^{\circ}/45^{\circ}\text{C}$ $+60^{\circ}\text{C}$,
- assicura una sostanziale stabilità della posizione dell'unità di misura rispetto alla rotaia 4 e quindi una affidabilità e ripetibilità delle rilevazioni.

La presente invenzione è stata illustrata e descritta in una sua preferita forma di pratica realizzazione, ma si intende che varianti esecutive potranno ad essa in pratica apportarsi senza peraltro uscire dall'ambito di protezione del presente brevetto per invenzione industriale.

RIVENDICAZIONI

1. Apparecchiatura per l'ispezione dinamica non a contatto di rotaie ferroviarie, caratterizzata dal fatto di comprendere:

- un carrello ferroviario (6) scorrevole lungo la rotaia (4) da ispezionare,
- un'unità di misura (12) per ciascuna rotaia (4) da ispezionare, montata su detto carrello (6),
- mezzi di stabilizzazione trasversale di detta unità di misura (12) rispetto alla rotaia (4) da ispezionare,
- almeno una sorgente laser pulsata (10), alimentante detta unità di misura (12),
- mezzi di guida (20) degli impulsi laser generati da detta sorgente laser (10),
- mezzi ottici (24) associati a detti mezzi di guida (20) ed in grado di focalizzare detti impulsi laser sulla parte di rotaia (4) da ispezionare,
- almeno un sensore (36,38,40,41) dei segnali ultrasonici generati dall'impatto degli impulsi laser su detta rotaia (4),
- almeno un computer (34) di acquisizione e di elaborazione dei dati,
- mezzi (32) di localizzazione dei difetti rilevati sulla rotaia (4) ispezionata.

2. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 1 caratterizzata dal fatto che detto carrello (6) è montato su un veicolo (2) mobile lungo le rotaie (4) ed è esso stesso mobile tra una posizione inattiva durante i trasferimenti di detto veicolo (2) ed una condizione operativa di ispezione.

3. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 2 caratterizzata dal fatto che detto carrello (6) è articolato a detto veicolo (2) ed è ribaltabile tra una posizione verticale inattiva, sollevata da detta rotaia (4) ed una posizione orizzontale operativa appoggiata con ruote (8) alla rotaia stessa.

4. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 2 caratterizzata dal fatto che detto carrello (6) è posizionato al di sotto di detto veicolo (2) ed è mobile verticalmente tra una posizione inattiva sollevata da dette rotaie (4), ad una posizione operativa appoggiata con ruote 8 alle rotaie stesse.
5. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 1 caratterizzata dal fatto che la sorgente laser pulsata (10) è montata sul veicolo (2) tramite supporti con smorzatori.
6. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 1 caratterizzata dal fatto che la sorgente laser pulsata (10) è collegata a detta unità di misura (12) mediante guide ottiche (20).
7. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 6 caratterizzata dal fatto che ciascuna guida ottica (20) è provvista di una terminazione (22) affacciata alla rotaia (4) da ispezionare e provvista di una lente di focalizzazione (24).
8. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 1 caratterizzata dal fatto che la sorgente laser pulsata (10) e l'unità di misura (12) sono poste a bordo di detto carrello (6).
9. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 1 caratterizzata dal fatto che detta sorgente laser pulsata comprende una testa laser (14), un alimentatore (16) ed un'unità di raffreddamento (18).
10. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 1 caratterizzata dal fatto di comprendere per ciascuna rotaia (4) da ispezionare tre guide ottiche (20) aventi le corrispondenti terminazioni (22) rivolte orizzontalmente verso il fungo (26) della rotaia (4) e verticalmente verso le estremità della suola (28) della rotaia stessa.
11. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 1 caratterizzata dal fatto di comprendere almeno un sensore disposto su un lato della suola (28) della

rotaia (4), almeno un sensore rivolto con disposizione inclinata verso il fungo (26) della rotaia (4) ed almeno un sensore rivolto con disposizione verticale verso il fungo (26) della rotaia (4).

12. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 1 caratterizzata dal fatto di comprendere un GPS (30) solidale al carrello (6).

13. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 1 caratterizzata dal fatto di comprendere almeno un encoder (32) solidale al carrello (6).

14. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 13 caratterizzata dal fatto che detto encoder (32) è di tipo ottico.

15. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 13 caratterizzata dal fatto che detto encoder (32) è di tipo magnetico.

16. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 10 caratterizzata dal fatto di comprendere un sistema idrico con ugelli in grado di investire con getti nebulizzati i punti di rotaia (4) affacciati alle terminazioni (22) delle guide ottiche (20).

17. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 1 caratterizzata dal fatto che detti mezzi ottici (24) e detto sensore (36,38,40,41) sono montati su supporti in grado di modificare la loro posizione/orientamento in funzione della geometria della rotaia (4) da ispezionare ed eventualmente dell'usura.

18. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 17 caratterizzata dal fatto che a detti supporti sono associati attuatori in grado di modificare la posizione/orientamento di detti mezzi ottici (24) e di detto sensore (36,38,40,41) su comando ricevuto da programma.

19. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 1 caratterizzata dal fatto di comprendere almeno un dispositivo di triangolazione per la lettura del profilo della rotaia (4).

20. Apparecchiatura secondo la rivendicazione 1 caratterizzata dal fatto di comprendere mezzi di sincronizzazione tra l'operatività del dispositivo di lettura del profilo della rotaia e l'operatività di detto sensore (36,38,40,41).

21. Metodo per l'ispezione dinamica non a contatto di rotaie ferroviarie caratterizzato dal fatto che:

- si genera con almeno una sorgente (10) di segnali laser, stabilizzata trasversalmente rispetto alla rotaia sotto ispezione, sequenze di impulsi,
- si investe con dette sequenze di impulsi laser i successivi punti di una rotaia (4) sotto ispezione, generando nei punti di impatto onde ultrasoniche, che si propagano lungo la rotaia stessa,
- si rilevano dette onde ultrasoniche con sensori (36,38,40,41) mobili lungo la rotaia stessa, solidalmente alla sorgente (10) di segnali laser, ma stabilizzati trasversalmente rispetto ad esso, ed in grado di trasformarle in segnali elettrici,
- in base alla conoscenza della dislocazione fisica dei sensori (36,38,40,41), del prevedibile comportamento teorico della propagazione delle onde ultrasoniche e della lentovarianza del fenomeno di propagazione delle stesse lungo la rotaia (4), si estraggono da ciascun segnale porzioni di segnale rappresentative delle differenti onde ultrasoniche di interesse,
- si associa a ciascuna onda ultrasonica di interesse una serie di parametri rappresentativi delle caratteristiche dell'onda stessa, ottenendo insiemi di parametri che la caratterizzano nell'istante di campionamento,
- si confronta ciascun insieme di parametri con corrispondenti insiemi memorizzati in un database e corrispondenti alle varie tipologie di difetti,
- in caso di riscontro positivo si determina il punto della rotaia (4) nel quale il difetto è stato rilevato.

22. Metodo secondo la rivendicazione 21 caratterizzato dal fatto che si trasformano i segnali elettrici generati da detti sensori nei corrispondenti segnali inviluppo, dai quali si estraggono le porzioni di segnale rappresentative delle differenti onde ultrasoniche di interesse.

23. Metodo secondo la rivendicazione 21 caratterizzato dal fatto che si costruisce il database con considerazioni teoriche e/o sperimentali sul comportamento della propagazione delle onde ultrasoniche su una rotaia (4) in presenza di differenti tipologie di difetti.

24. Metodo secondo la rivendicazione 21 caratterizzato dal fatto che si effettua il confronto tra l'insieme di parametri rappresentativi dell'onda ultrasonica rilevata e gli insiemi di parametri memorizzati nel database e corrispondenti alle varie tipologie di difetti, nel solo caso di riscontrata variazione significativa di detti parametri rappresentativi dell'onda ultrasonica rilevata nel corso di rilevamenti successivi lungo la rotaia sotto ispezione.

25. Metodo secondo la rivendicazione 21 caratterizzato dal fatto che si associa a ciascun istante di campionamento la posizione del sistema di campionamento lungo la rotaia (4) sotto ispezione.

26. Metodo secondo la rivendicazione 21 caratterizzato dal fatto che si inviano almeno tre sequenze di segnali laser, una delle quali sulla testa della rotaia sotto ispezione e due alle due estremità della suola della rotaia stessa.

27. Metodo secondo la rivendicazione 21 caratterizzato dal fatto che si utilizzano almeno quattro sensori di rilevamento delle onde ultrasoniche, dei quali:

- due sensori sono posti a ciascun lato della rotaia per rilevare difetti presenti sulle corrispondenti ali delle soole,

- uno è disposto inclinato in corrispondenza della testa della rotaia per rilevare difetti presenti nel fungo della rotaia,
- uno è disposto verticalmente al di sopra del fungo della rotaia per rilevare difetti presenti nella parte centrale della suola, del gambo e nella parte centrale del fungo.

28. Metodo secondo la rivendicazione 21 caratterizzato dal fatto che si investe con almeno un getto di liquido nebulizzato la zona della rotaia sotto ispezione investita dagli impulsi laser.

29. Metodo secondo la rivendicazione 21 caratterizzato dal fatto che si rileva durante il campionamento il profilo della rotaia sotto ispezione.

30. Apparecchiatura per l'ispezione dinamica non a contatto delle rotaie ferroviarie secondo le rivendicazioni da 1 a 20, metodo per l'ispezione dinamica non a contatto delle rotaie ferroviarie secondo le rivendicazioni da 21 a 29 e sostanzialmente come illustrati e descritti.

p.i. della TECNOGAMMA S.p.A.

Dr. Ing. Paolo Piovesana

FIG. 1

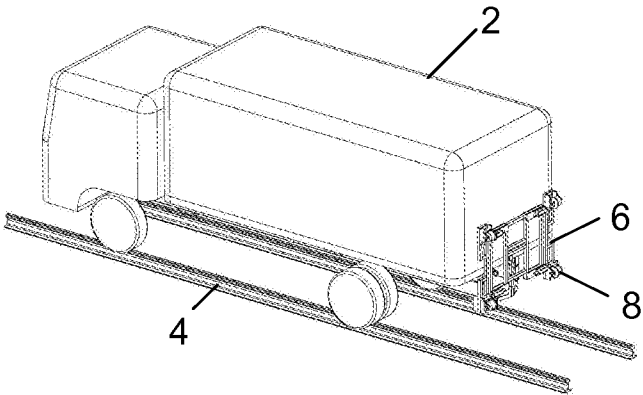


FIG. 2

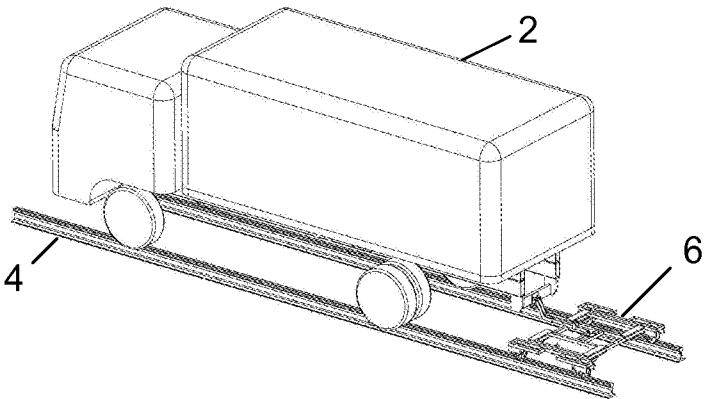


FIG. 3

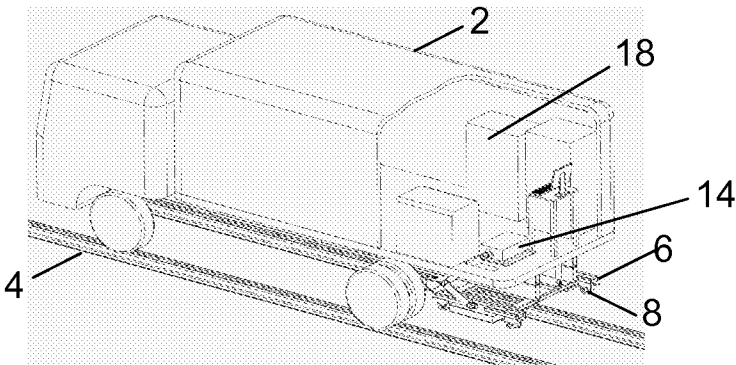


FIG. 4

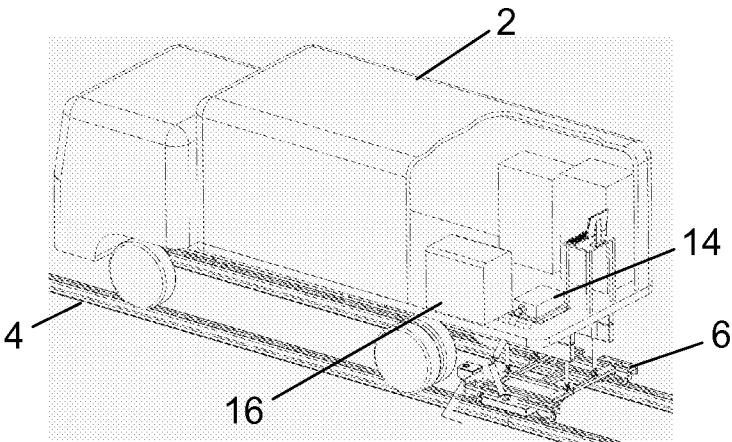


FIG. 5

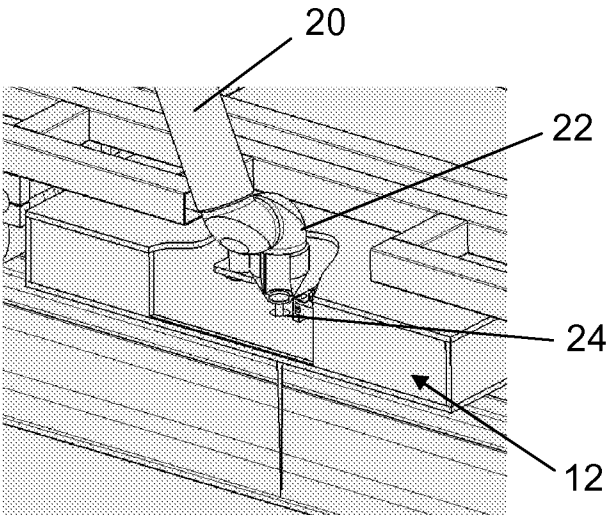


FIG. 6

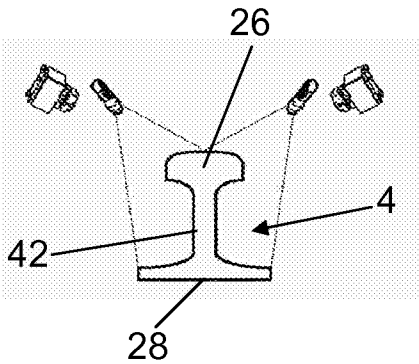
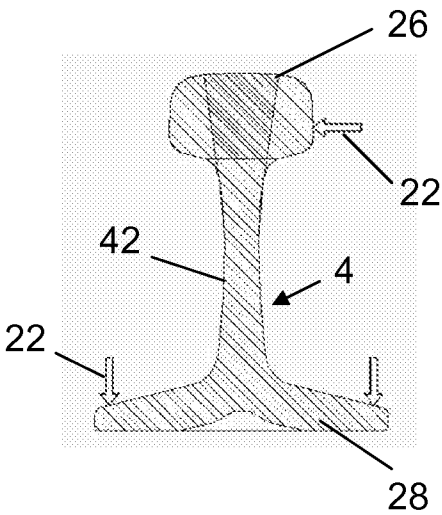


FIG. 7



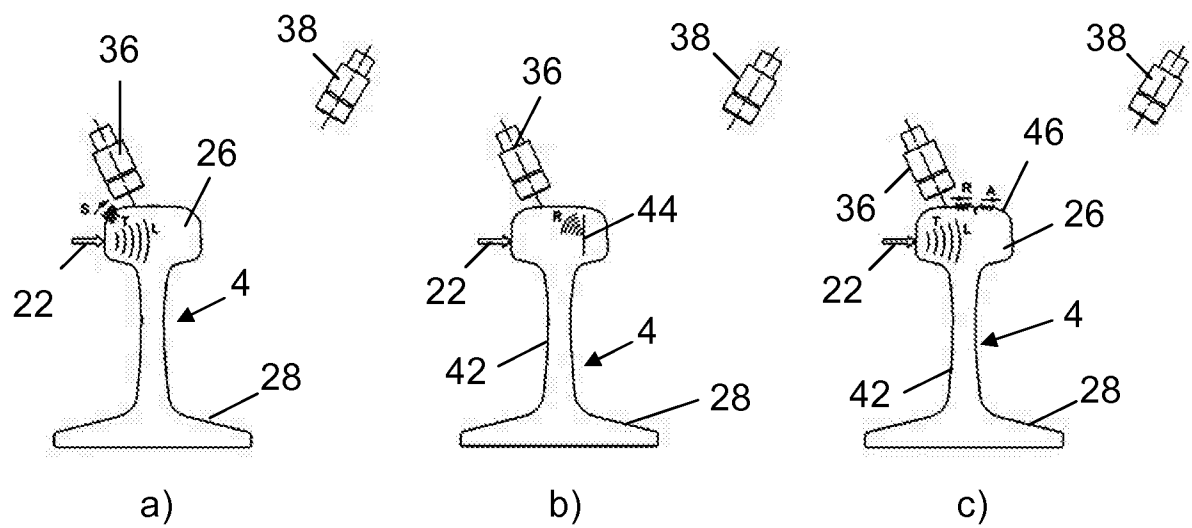


FIG. 8

FIG. 9

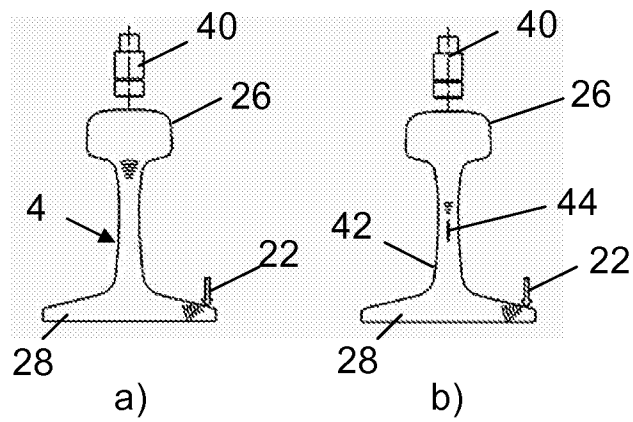


FIG. 10

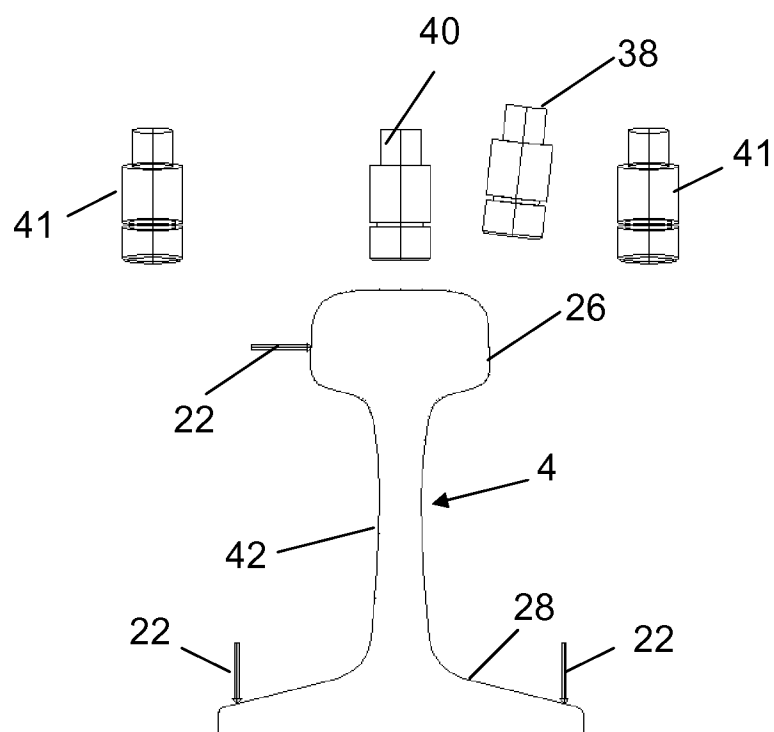


FIG. 11

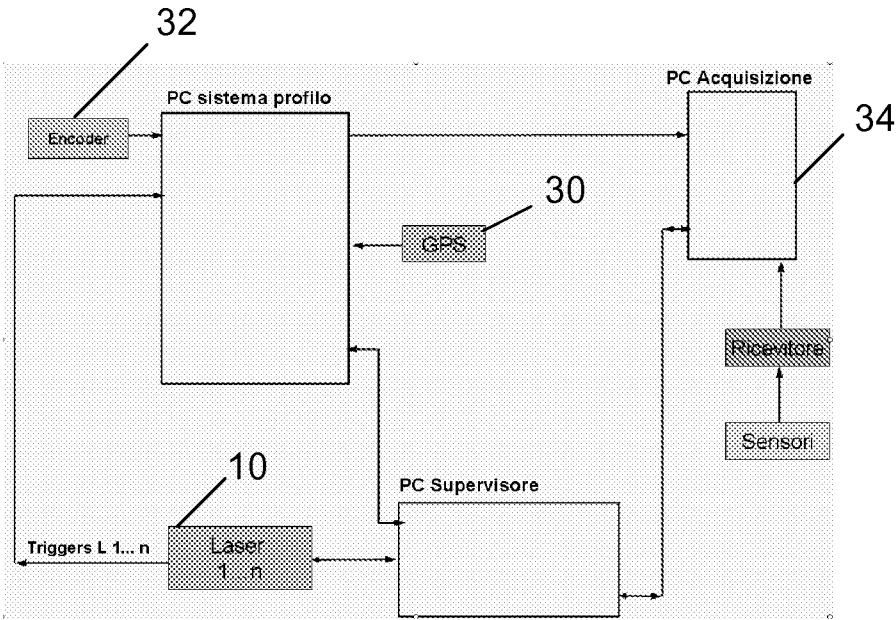


FIG. 12

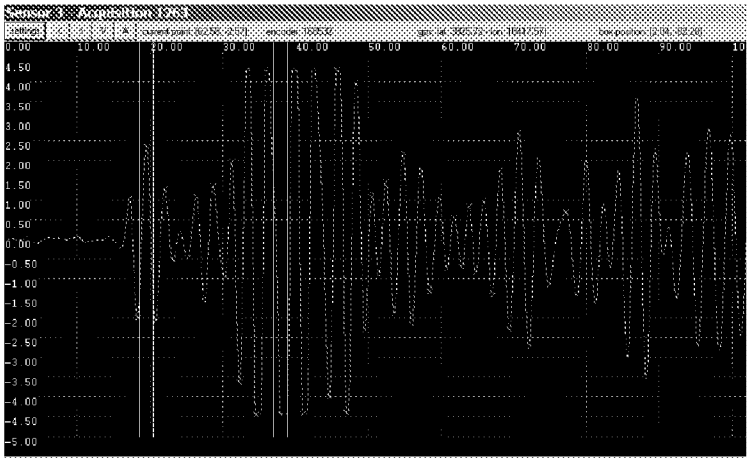


FIG. 13

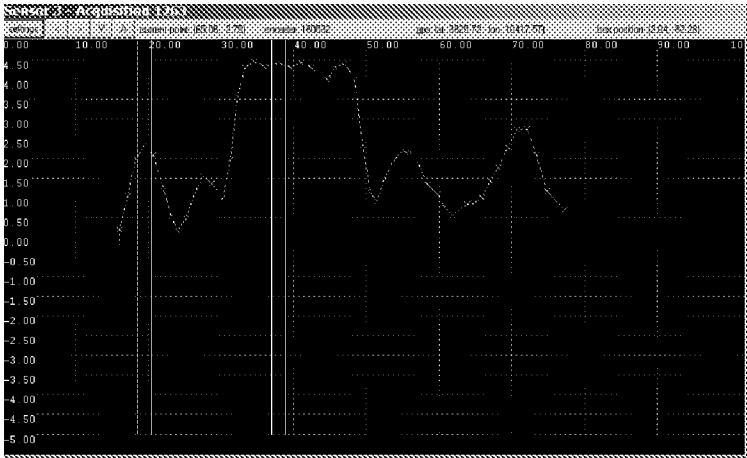


FIG. 14

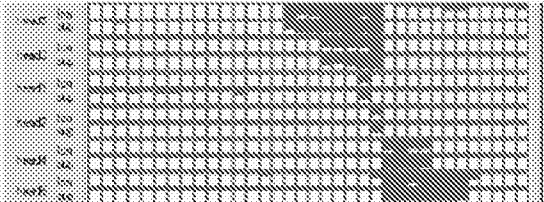


FIG. 15

