



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

<b>DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO</b>	<b>102018000010252</b>
<b>Data Deposito</b>	<b>12/11/2018</b>
<b>Data Pubblicazione</b>	<b>12/05/2020</b>

Classifiche IPC

Titolo

**SISTEMA LOCALIZZATORE E RELATIVI METODO E SERVIZIO DI LOCALIZZAZIONE CON INNOVATIVA SINCRONIZZAZIONE TEMPORALE E IN FREQUENZA DI TRANSPONDER LOCALIZZATORI**

## **DESCRIZIONE**

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"SISTEMA LOCALIZZATORE E RELATIVI METODO E SERVIZIO DI LOCALIZZAZIONE CON INNOVATIVA SINCRONIZZAZIONE TEMPORALE E IN FREQUENZA DI TRANSPONDER LOCALIZZATORI"

di THALES ALENIA SPACE ITALIA S.P.A. CON UNICO SOCIO

di nazionalità italiana

con sede: VIA SACCOMURO 24, 00131 ROMA (RM)

Inventori: GIANCRISTOFARO Domenico, CHIARELLI Gianluca

\* \* \*

## **CAMPO TECNICO DELL'INVENZIONE**

La presente invenzione è relativa a un sistema localizzatore e a relativi metodo e servizio di localizzazione con innovativa sincronizzazione temporale e in frequenza di transponder localizzatori.

Più specificamente, la presente invenzione sfrutta convenientemente a scopo di localizzazione:

- un sistema basato su radar che può essere convenientemente

- un sistema radar ad apertura sintetica (SAR, Synthetic Aperture Radar) (quale ad esempio un sistema SAR che impiega uno o più sensori SAR trasportati su satellite (satelliti) e/o velivolo (velivoli) e/o drone (droni) e/o elicottero (elicotteri), ecc.),

- un sistema radar ad apertura sintetica inversa (ISAR, Inverse Synthetic Aperture Radar) (quale ad esempio un sistema ISAR che impiega uno o più sensori radar trasportati su satellite (satelliti) e/o velivolo (velivoli) e/o drone (droni) e/o elicottero (elicotteri), ecc.),
- o anche un sistema radar generico (quale ad esempio un sistema radar di terra, navale/marittimo, avionico o satellitare - ad esempio un radar di rilevamento e ricerca, un radar di controllo del traffico aereo (ATC, Air Traffic Control), un radar meteorologico, ecc.);

- un sistema di comunicazioni radio che può essere distinto convenientemente dal sistema basato su radar o integrato con esso (ad esempio, si potrebbe sfruttare convenientemente uno o più satelliti/velivoli/droni dotati, ciascuno, sia di un sensore SAR/radar sia di un sistema/dispositivo/apparecchiatura/apparecchio di comunicazioni radio); e

- un transponder localizzatore rigenerativo di piccole dimensioni, leggero, economico e a basso consumo di energia.

#### **STATO DELLA TECNICA**

WO2018/162756A1 (la cui descrizione è incorporata per riferimento nella presente domanda) è relativa a un sistema localizzatore che impiega un transponder rigenerativo a

basso consumo di energia, e al metodo e al servizio di localizzazione implementati/forniti da detto sistema localizzatore.

In particolare, WO2018/162756A1 descrive un metodo di localizzazione per localizzare un bersaglio che è accoppiato a un transponder localizzatore associato a un codice di identificazione permanente assegnato permanentemente a detto transponder localizzatore. Detto metodo di localizzazione comprende:

a) alla ricezione della richiesta di un utente di localizzare il bersaglio, trasmettere, tramite un sistema di paging o un sistema basato su radar, un segnale di paging a spettro espanso che trasporta il codice di identificazione permanente e un codice di identificazione temporaneo assegnato temporaneamente al transponder localizzatore, in cui detto codice di identificazione temporaneo è più corto di detto codice di identificazione permanente;

b) ricevere, tramite il transponder localizzatore, il segnale di paging a spettro espanso ed estrarre, tramite detto transponder localizzatore, il codice di identificazione temporaneo trasportato da detto segnale di paging a spettro espanso ricevuto;

c) trasmettere, tramite il sistema basato su radar, segnali radar verso una o più aree della superficie terrestre o del cielo, e ricevere, tramite detto sistema basato su

radar, segnali di eco da detta una o più aree della superficie terrestre o del cielo;

d) alla ricezione da parte del transponder localizzatore di uno o più segnali radar trasmessi dal sistema basato su radar, generare e trasmettere, tramite detto transponder localizzatore, una sequenza di segnali di eco radar marchiati in cui è incorporato un segnale di marchiatura (Watermarking) a spettro espanso, in cui detto segnale di marchiatura a spettro espanso trasporta il codice di identificazione temporaneo estratto.

Più in dettaglio, la generazione e la trasmissione, da parte del transponder localizzatore, della sequenza di segnali di eco radar marchiati include:

- generare una sequenza di segnali di eco radar in base al segnale radar ricevuto (ai segnali radar ricevuti);

- modulare la sequenza generata di segnali di eco radar in base al segnale di marchiatura a spettro espanso, ottenendo in questo modo la sequenza di segnali di eco radar marchiati; e

- trasmettere detta sequenza di segnali di eco radar marchiati.

Il segnale di marchiatura a spettro espanso include una porzione di sincronizzazione e una porzione di informazioni. La porzione di sincronizzazione del segnale di marchiatura a spettro espanso è generata in base a un primo codice di

pseudorumore predefinito. La porzione di informazioni del segnale di marcatura a spettro espanso è generata applicando una prima tecnica a spettro espanso predefinita a un dato segnale che trasporta il codice di identificazione temporaneo estratto. Detta prima tecnica a spettro espanso predefinita è applicata usando un secondo codice di pseudorumore predefinito, che è uguale al, o diverso dal, primo codice di pseudorumore predefinito.

Inoltre, il metodo di localizzazione secondo WO2018/162756A1 comprende:

e) eseguire, tramite il sistema basato su radar, operazioni di localizzazione che includono

- rilevare, nei segnali di eco ricevuti, la sequenza di segnali di eco radar marchiati trasmessa dal transponder localizzatore rilevando la porzione di sincronizzazione del segnale di marchiatura a spettro espanso incorporato in detta sequenza di segnali di eco radar marchiati,

- estrarre il codice di identificazione temporaneo trasportato dal segnale di marchiatura a spettro espanso incorporato nella sequenza di segnali di eco radar marchiati rilevata estraendo detto codice di identificazione temporaneo dalla porzione di informazioni del segnale di marchiatura a spettro espanso incorporato in detta sequenza di segnali di eco radar marchiati rilevata, e

- determinare una posizione del transponder

localizzatore sulla base della sequenza di segnali di eco radar marchiati rilevata.

Convenientemente, il segnale di paging a spettro espanso include una prima porzione seguita da una seconda porzione, in cui:

- la prima porzione del segnale di paging a spettro espanso è generata applicando una seconda tecnica a spettro espanso predefinita al codice di identificazione permanente;

- detta seconda tecnica a spettro espanso predefinita è applicata usando un terzo codice di pseudorumor predefinito;

- la seconda porzione del segnale di paging a spettro espanso è generata applicando una terza tecnica a spettro espanso predefinita al codice di identificazione temporaneo, detta terza tecnica a spettro espanso predefinita essendo uguale alla, o diversa dalla, seconda tecnica a spettro espanso predefinita; e

- detta terza tecnica a spettro espanso predefinita è applicata usando un quarto codice di pseudorumor predefinito, che è uguale al, o diverso dal, terzo codice di pseudorumor predefinito.

Il segnale di paging a spettro espanso può trasportare convenientemente anche bit di ridondanza di un codice di rilevamento e correzione di errori (EDAC, Error Detection And Correction).

Convenientemente, la modulazione della sequenza generata di segnali di eco radar include modulare in fase detta sequenza generata di segnali di eco radar sulla base del segnale di marchiatura a spettro espanso.

Preferibilmente, il dato segnale che trasporta il codice di identificazione temporaneo estratto include una porzione relativa al codice di identificazione temporaneo seguita da una porzione di rilevamento di errori, in cui detta porzione relativa al codice di identificazione temporaneo trasporta il codice di identificazione temporaneo e detta porzione di rilevamento di errori trasporta un codice di rilevamento di errori calcolato sulla base del codice di identificazione temporaneo.

Più preferibilmente, il codice di identificazione temporaneo è codificato nella porzione relativa al codice di identificazione temporaneo del dato segnale usando una tecnica di correzione di errori.

Convenientemente, il sistema basato su radar è un sistema radar o un sistema SAR o un sistema ISAR.

Più convenientemente, le operazioni di localizzazione eseguite dal sistema basato su radar includono inoltre formare un'immagine radar/SAR/ISAR sulla base dei segnali di eco ricevuti; inoltre, la determinazione di una posizione del transponder localizzatore include determinare una posizione del transponder localizzatore nell'immagine

radar/SAR/ISAR formata sulla base della sequenza di segnali di eco radar marchiati rilevata.

In particolare, la formazione di un'immagine radar/SAR/ISAR sulla base dei segnali di eco ricevuti include convenientemente:

- rimuovere, dai segnali di eco ricevuti, la sequenza di segnali di eco radar marchiati rilevata, ottenendo in questo modo segnali di eco privi di marchio; e

- formare un'immagine radar/SAR/ISAR priva di marchio sulla base dei segnali di eco privi di marchio.

In dettaglio, la sequenza di segnali di eco radar marchiati rilevata può essere convenientemente rimossa dai segnali di eco ricevuti usando una tecnica di rilevamento multi-utente.

Convenientemente, il sistema di paging può essere un sistema/una rete satellitare di comunicazioni, o il sistema basato su radar stesso, o un sistema di paging ad hoc progettato specificamente e dedicato all'attivazione di transponder localizzatore e che è integrato nel sistema basato su radar o distinto da esso.

WO2018/162756A1 descrive inoltre un sistema localizzatore progettato specificamente e configurato per eseguire il metodo di localizzazione di cui sopra, ed è relativo a un transponder localizzatore progettato specificamente e configurato per realizzare le fasi b) e d)

di detto metodo di localizzazione.

Detto transponder localizzatore è configurato convenientemente per funzionare in:

- una modalità di inattività in cui sono accesi soltanto primi mezzi di detto transponder localizzatore, detti primi mezzi essendo configurati per

- ricevere segnali di paging a spettro espanso, e
- verificare se un segnale di paging a spettro espanso ricevuto trasporta il codice di identificazione permanente associato a detto transponder localizzatore; e

- una modalità di localizzazione in cui sono accesi anche secondi mezzi di detto transponder localizzatore, detti secondi mezzi essendo configurati per

- estrarre il codice di identificazione temporaneo trasportato da un segnale di paging a spettro espanso ricevuto che trasporta il codice di identificazione permanente associato a detto transponder localizzatore, ed

- eseguire la fase d) di detto metodo di localizzazione.

Inoltre, detto transponder localizzatore è configurato preferibilmente per passare dalla modalità di inattività alla modalità di localizzazione quando i primi mezzi rilevano un segnale di paging a spettro espanso ricevuto che trasporta il codice di identificazione permanente associato a detto transponder localizzatore.

Convenientemente, il transponder localizzatore è

configurato inoltre per passare dalla modalità di localizzazione alla modalità di inattività

- dopo un tempo predefinito di funzionamento nella modalità di localizzazione, e/o

- alla ricezione di un segnale a radiofrequenza (RF) che trasporta un comando predefinito (quale ad esempio un segnale RF trasmesso dal sistema di paging o dal sistema basato su radar).

Convenientemente, il transponder localizzatore può essere progettato per eseguire, nella modalità di inattività, un meccanismo di cattura di potenza (Power Harvesting) per accumulare/catturare potenza ricevuta dal sistema (dai sistemi) radar/SAR/ISAR e, ad esempio per usare la potenza accumulata/catturata per la ricarica di una batteria e/o altre funzioni aggiuntive.

Per una migliore comprensione del sistema localizzatore secondo WO2018/162756A1, le figure 1, 2 e 3 illustrano schematicamente tre esempi di sistema localizzatore descritti in WO2018/162756A1.

In particolare, la figura 1 mostra un primo sistema localizzatore (indicato complessivamente con 1A) che è progettato per fornire un servizio di localizzazione su richiesta per localizzare un bersaglio (quale ad esempio un oggetto, un veicolo, una nave, una persona, un animale, ecc.) in seguito alla richiesta di un utente interessato a

conoscere la posizione del bersaglio.

In altre parole, il primo sistema localizzatore 1A è configurato per, in risposta alla richiesta di un utente di localizzare un bersaglio, eseguire il metodo di localizzazione di cui sopra per determinare la posizione del bersaglio.

Come mostrato nella figura 1, il primo sistema localizzatore 1A include un centro di controllo di sistema localizzatore 2, un sistema o una rete satellitare di comunicazioni 3, un sistema SAR 4 e un transponder localizzatore 5.

Il transponder localizzatore 5 è accoppiato con un bersaglio (non mostrato nella figura 1) da localizzare in risposta alla richiesta di un utente ed è associato a un codice di identificazione permanente, che identifica in modo univoco e permanente detto transponder localizzatore 5 e che è memorizzato convenientemente su una memoria interna di detto transponder localizzatore 5.

Il sistema SAR 4 comprende un SAR avionico/satellitare 41 (ossia, un sensore SAR installato a bordo di un velivolo/drone/UAV (ossia Unmanned Aerial Vehicle, veicolo aereo senza pilota) o un satellite) e una stazione a terra di controllo ed elaborazione 42, che sono connessi senza fili e in remoto tra loro per consentire la trasmissione dei comandi di controllo dalla stazione a terra di controllo ed

elaborazione 42 al SAR avionico/satellitare 41 e di dati telemetrici e rilevati in remoto da detto SAR avionico/satellitare 41 a detta stazione a terra di controllo ed elaborazione 42.

Il centro di controllo di sistema localizzatore 2 è connesso al sistema/alla rete satellitare di comunicazioni 3 e alla stazione a terra di controllo ed elaborazione 42 del sistema SAR 4.

Inoltre, la figura 2 mostra un secondo sistema localizzatore (indicato complessivamente con 1B) secondo WO2018/162756A1, che include il centro di controllo di sistema localizzatore 2, un sistema di paging 6, un sistema radar 7 e il transponder localizzatore 5.

Nel secondo sistema localizzatore 1B, il centro di controllo di sistema localizzatore 2 è connesso al sistema di paging 6 e al sistema radar 7.

Inoltre, la figura 3 mostra un terzo sistema localizzatore (indicato complessivamente con 1C) secondo WO2018/162756A1, che include il centro di controllo di sistema localizzatore 2, il sistema di paging 6, un sistema ISAR 8 e il transponder localizzatore 5.

Nel terzo sistema localizzatore 1C, il centro di controllo di sistema localizzatore 2 è connesso al sistema di paging 6 e al sistema ISAR 8.

Il secondo e il terzo sistema localizzatore 1B e 1C

sono progettati per fornire il servizio di localizzazione su richiesta per localizzare bersagli (come ad esempio oggetti, veicoli, navi, persone, animali, ecc.), in seguito alla richiesta di utenti, all'interno delle regioni di copertura del sistema di radar 7 e del sistema ISAR 8, rispettivamente.

Il secondo e il terzo sistema localizzatore 1B e 1C sono progettati per funzionare sostanzialmente nello stesso modo, mutatis mutandis, come il primo sistema localizzatore 1A.

Rispetto al primo sistema localizzatore 1A che, se basato su un sistema SAR satellitare, fornisce una copertura globale, il secondo e il terzo sistema localizzatore 1B e 1C, anche se basati sull'uso di molteplici radar cooperanti (ad esempio una distribuzione costiera di radar), forniscono una maggiore copertura regionale.

Nel secondo e nel terzo sistema localizzatore 1B e 1C, il sistema di paging 6 è progettato per l'attivazione di transponder localizzatore e può essere un sistema distinto dal sistema radar/ISAR 7, 8 o può essere integrato direttamente all'interno del sistema radar/ISAR 7, 8 e può usare il suo front-end RF per trasmettere segnali di paging a spettro espanso. In alternativa, l'attivazione di transponder localizzatore può essere eseguita direttamente dal sistema radar/ISAR 7, 8 (ad esempio trasmettendo sequenze di chirp o segnali inversi codificati correttamente con una

correlazione incrociata minima con le forme d'onda/i segnali di scansione radar/ISAR (ossia, quelli usati per il rilevamento/la formazione di immagini radar/ISAR)).

Inoltre, la figura 4 illustra schematicamente il metodo di localizzazione eseguito, nell'uso, dal primo/secondo/terzo sistema localizzatore 1A, 1B, 1C.

In particolare, in risposta a una richiesta di localizzazione (blocco 11 nella figura 4) ricevuta da un utente 9 (ad esempio, tramite un sito web del primo/secondo/terzo sistema localizzatore 1A, 1B, 1C), il centro di controllo di sistema localizzatore 2 attiva una ricerca del transponder localizzatore 5 (blocco 12 nella figura 4):

- assegnando un codice di identificazione temporaneo a detto transponder localizzatore 5, in cui detto codice di identificazione temporaneo è più corto del codice di identificazione permanente; e

- inviando un primo messaggio di attivazione di ricerca al sistema/alla rete satellitare di comunicazioni 3 / al sistema di paging 6 e un secondo messaggio di attivazione di ricerca al sistema SAR/radar/ISAR 4, 7, 8 (ad esempio, alla stazione a terra di controllo ed elaborazione 42 del sistema SAR 4), in cui il primo messaggio di attivazione di ricerca include sia il codice di identificazione permanente sia il codice di identificazione temporaneo del transponder

localizzatore 5 da localizzare, mentre il secondo messaggio di attivazione di ricerca include solo il codice di identificazione temporaneo.

Convenientemente, i codici di identificazione permanente e temporaneo sono, rispettivamente, numeri a M cifre e a N cifre (ad esempio, numeri binari, esadecimali o decimali a M cifre e a N cifre), in cui M e N sono numeri interi positivi con N minore di M.

In particolare, la lunghezza di un codice di identificazione permanente è dimensionata convenientemente in modo da consentire l'allocazione di un codice di identificazione permanente univoco a ogni transponder localizzatore 5 appartenente al primo/secondo/terzo sistema localizzatore 1A, 1B, 1C (ovvero, i codici di identificazione permanenti convenientemente sono abbastanza lunghi da "coprire" l'intera "popolazione" di transponder localizzatori 5 del primo/secondo/terzo sistema localizzatore 1A, 1B, 1C). La lunghezza di codice di identificazione temporaneo, invece, è dimensionata convenientemente in modo da consentire l'allocazione di un codice di identificazione temporaneo univoco a ogni transponder localizzatore 5 da localizzare in un dato momento; pertanto, sulla base del presupposto che soltanto alcuni (ossia un numero limitato di) transponder localizzatori 5 devono essere localizzati

contemporaneamente, la lunghezza di codice di identificazione temporaneo può essere estremamente inferiore alla lunghezza di codice di identificazione permanente (ad esempio, un codice di identificazione temporaneo a 3 bit è sufficiente per localizzare fino a otto transponder localizzatori 5 contemporaneamente). In ogni caso, se necessario, il codice di identificazione temporaneo può essere concatenato convenientemente in lunghezza in modo da consentire la localizzazione simultanea di una comunità più ampia di transponder localizzatori 5.

Facendo nuovamente riferimento alla figura 4, il sistema/la rete satellitare di comunicazioni 3 / il sistema di paging 6, alla ricezione del primo messaggio di attivazione di ricerca, esegue una fase di paging (blocco 13 nella figura 4), che include la trasmissione di un segnale di paging a spettro espanso che trasporta i codici di identificazione permanente e temporaneo del transponder localizzatore 5 da localizzare.

Convenientemente, il segnale di paging a spettro espanso trasmesso dal sistema/dalla rete satellitare di comunicazioni 3 / dal sistema di paging 6 è un segnale a velocità dati molto bassa che, come nelle comunicazioni nello spazio profondo, può sostenere un bilancio di collegamento estremamente scarso e sfruttare circuiti di ricezione molto lenti consentendo in questo modo un consumo di energia molto

basso da parte del transponder localizzatore 5.

Preferibilmente, il segnale di paging a spettro espanso include una prima porzione seguita da una seconda porzione, in cui:

- la prima porzione è
  - destinata a consentire al transponder localizzatore 5, sul lato di ricezione, di rilevare il codice di identificazione permanente e di sincronizzarsi con detto segnale di paging a spettro espanso, e
  - generata applicando una prima tecnica a spettro espanso predefinita (quale ad esempio una tecnica a spettro espanso in sequenza diretta (DSSS, Direct-Sequence Spread Spectrum)) al codice di identificazione permanente, in cui detta prima tecnica a spettro espanso predefinita è applicata usando un primo codice di pseudorumor (PN, Pseudo Noise) (quale ad esempio un codice di Barker, un codice di Gold, un codice di Kasami, ecc.); e
- la seconda porzione è generata applicando una seconda tecnica a spettro espanso predefinita (quale ad esempio una tecnica DSSS) al codice di identificazione temporaneo, in cui detta seconda tecnica a spettro espanso predefinita è applicata usando un secondo codice PN predefinito (quale ad esempio un codice di Barker, un codice di Gold, un codice di Kasami, ecc.).

Convenientemente, detta prima tecnica a spettro espanso

predefinita e detta seconda tecnica a spettro espanso predefinita possono essere uguali, oppure diverse, tra loro; inoltre, detto primo codice PN predefinito e detto secondo codice PN predefinito possono essere convenientemente uguali, oppure diversi, tra loro.

Il transponder localizzatore 5 è progettato per funzionare in una modalità di inattività e in una modalità di localizzazione. In particolare, il transponder localizzatore 5 è configurato per funzionare di default nella modalità di inattività, in cui detto transponder localizzatore 5 esegue, almeno periodicamente, soltanto funzioni per la ricezione e l'elaborazione di segnale di paging a spettro espanso per verificare la presenza del suo codice di identificazione permanente nei segnali di paging a spettro espanso ricevuti. Pertanto, nella modalità di inattività vengono fatti funzionare (almeno periodicamente) soltanto componenti/unità/moduli di detto transponder localizzatore 5 per la ricezione e l'elaborazione di segnale di paging a spettro espanso, mentre tutti gli altri componenti/unità/moduli sono spenti, determinando in questo modo il fatto che il transponder localizzatore 5, nella modalità di inattività, abbia un consumo di energia estremamente basso. Convenientemente, il transponder localizzatore 5 può essere progettato per eseguire, nella modalità di inattività, un meccanismo di cattura per

accumulare/catturare potenza ricevuta dal sistema SAR/radar/ISAR 4, 7, 8 e, ad esempio, per usare la potenza accumulata/catturata per la ricarica di una batteria e/o altre funzioni aggiuntive.

Facendo nuovamente riferimento alla figura 4, il transponder localizzatore 5, alla ricezione di un segnale di paging a spettro espanso che trasporta il suo codice di identificazione permanente, si attiva (blocco 14 nella figura 4) e inizia a funzionare nella modalità di localizzazione, in cui detto transponder localizzatore 5 coopera con il sistema SAR/radar/ISAR 4, 7, 8 per consentire a quest'ultimo di determinare la posizione di detto transponder localizzatore 5.

In particolare, alla ricezione di un segnale di paging a spettro espanso che trasporta il suo codice di identificazione permanente, il transponder localizzatore 5 estrae il codice di identificazione temporaneo trasportato da detto segnale di paging a spettro espanso ricevuto, il quale codice di identificazione temporaneo è quindi usato per consentire al sistema SAR/radar/ISAR 4, 7, 8 di determinare la posizione di detto transponder localizzatore 5.

Di fatto, alla ricezione del secondo messaggio di attivazione di ricerca, il sistema SAR/radar/ISAR 4, 7, 8 attiva la localizzazione SAR/radar/ISAR (blocco 15 nella

figura 4) per localizzare il transponder localizzatore 5 associato al codice di identificazione temporaneo contenuto nel secondo messaggio di attivazione di ricerca ricevuto.

L'attivazione della localizzazione SAR/radar/ISAR (blocco 15 nella figura 4) non incide sul normale funzionamento nella trasmissione e nella ricezione del sistema SAR/radar/ISAR 4, 7, 8 (ad esempio, del SAR avionico/satellitare 41). Di fatto, dopo l'attivazione della localizzazione SAR/radar/ISAR (blocco 15 nella figura 5), il sistema SAR/radar/ISAR 4, 7, 8 continua a funzionare secondo la sua modalità di funzionamento predefinita (ad esempio, il SAR avionico/satellitare 41 continua a funzionare in modalità Stripmap, in modalità Spotlight, ecc.) trasmettendo segnali radar verso, e ricevendo segnali di eco da, una o più aree bersaglio della superficie terrestre o del cielo. Come sarà descritto nel seguito, invece, dopo l'attivazione della localizzazione SAR (blocco 15 nella figura 4), il sistema SAR/radar/ISAR 4, 7, 8 (ad esempio, la stazione a terra di controllo ed elaborazione 42) inizia a eseguire un'elaborazione specifica (blocco 17 nella figura 4) dei segnali di eco ricevuti, gestendo la localizzazione del transponder localizzatore 5 in modo diverso dalla tradizionale elaborazione SAR/radar/ISAR.

Alla ricezione di uno o più segnali radar trasmessi dal sistema SAR/radar/ISAR 4, 7, 8 (ad esempio dal SAR

avionioco/satellitare 41), il transponder localizzatore 5 (che sta funzionando nella modalità di localizzazione) esegue una fase di marchiatura a spettro espanso (blocco 16 nella figura 4), che include la generazione e la trasmissione di una sequenza di segnali di eco radar marchiati in cui è incorporato un segnale di marchiatura a spettro espanso, in cui detto segnale di marchiatura a spettro espanso trasporta il codice di identificazione temporaneo di detto transponder localizzatore 5 (in particolare, il codice di identificazione temporaneo estratto da detto transponder localizzatore 5 dal segnale di paging a spettro espanso ricevuto dal sistema/dalla rete satellitare di comunicazioni 3 / dal sistema di paging 6). La sequenza di segnali di eco radar marchiati può essere convenientemente generata e trasmessa tutta insieme alla ricezione di un chirp radar, o in modo frammentato dopo ogni chirp radar ricevuto, a seconda delle analisi di temporizzazione tipiche del SAR/radar/ISAR, che tengono conto della dimensione della strisciata (swath), della frequenza di ripetizione di impulso (PRF, Pulse Repetition Frequency) e della lunghezza della sequenza del marchio. Nel primo caso, l'energia del marchio, in molteplici chirp sottoposti a codifica di fase identici a quello ricevuto dal sistema sistema SAR/radar/ISAR 4, 7, 8, è concentrata attorno a ogni chirp ricevuto; nel secondo caso, il marchio è frammentato intorno all'epoca di ricezione dei

molteplici chirp.

Preferibilmente, la generazione e la trasmissione di una sequenza di segnali di eco radar marchiati includono:

- la generazione di una sequenza di segnali di eco radar sulla base degli uno o più segnali radar ricevuti dal transponder localizzatore 5 provenienti dal sistema SAR/radar/ISAR 4, 7, 8 (ad esempio dal SAR avionico/satellitare 41);

- la modulazione (più preferibilmente, la modulazione di fase o frequenza) della sequenza generata di segnali di eco radar sulla base del segnale di marchiatura a spettro espanso, ottenendo in questo modo la sequenza di segnali di eco radar marchiati; e

- la trasmissione di detta sequenza di segnali di eco radar marchiati.

Preferibilmente, il segnale di marchiatura a spettro espanso include una porzione di sincronizzazione e una porzione di informazioni, in cui la porzione di sincronizzazione è seguita dalla porzione di informazioni o, in alternativa, in cui la porzione di sincronizzazione e la porzione di informazioni sono sovrapposte temporalmente, e in cui:

- la porzione di sincronizzazione è
  - destinata a consentire al sistema SAR/radar/ISAR 4, 7, 8, sul lato di ricezione, di rilevare, e sincronizzarsi

con, detto segnale di marchiatura a spettro espanso, e

- generata dal transponder localizzatore 5 sulla base di un terzo codice PN predefinito (quale ad esempio un codice di Barker, un codice di Gold, un codice di Kasami, ecc.); e

- la porzione di informazioni è generata dal transponder localizzatore 5 applicando una terza tecnica a spettro espanso predefinita (quale ad esempio una tecnica DSSS) a un dato segnale che trasporta il codice di identificazione temporaneo, in cui detta terza tecnica a spettro espanso predefinita è applicata usando un quarto codice PN predefinito (quale ad esempio un codice di Barker, un codice di Gold, un codice di Kasami, ecc.).

Convenientemente, detto terzo codice PN predefinito e detto quarto codice PN predefinito possono essere uguali, o diversi, tra loro.

Per aumentare la robustezza della decodifica di informazioni e del rilevamento e della correzione di errori sul lato di ricezione, il dato segnale può includere convenientemente una porzione relativa al codice di identificazione temporaneo seguita da una porzione di rilevamento di errori, in cui:

- la porzione relativa al codice di identificazione temporaneo trasporta il codice di identificazione temporaneo; e

- la porzione di rilevamento di errori trasporta un codice di rilevamento di errori (quale ad esempio un codice di verifica di ridondanza ciclica (CRC, Cyclic Redundancy Check) o un altro tipo di codice di verifica di integrità/parità) calcolato sulla base del codice di identificazione temporaneo.

Per aumentare ulteriormente la robustezza della decodifica di informazioni e del rilevamento e della correzione di errori sul lato di ricezione, il codice di identificazione temporaneo può essere convenientemente codificato nella porzione relativa al codice di identificazione temporaneo del segnale dato usando una tecnica di correzione di errori, convenientemente una tecnica di correzione anticipata degli errori (FEC, Forward Error Correction), quale ad esempio una tecnica FEC basata su codici di Reed-Muller o altri tipi di codici di correzione di errori.

Facendo nuovamente riferimento alla figura 4, il sistema SAR/radar/ISAR 4, 7, 8 (ad esempio, la stazione a terra di controllo ed elaborazione 42), una volta attivata la localizzazione SAR/radar/ISAR (blocco 15 nella figura 4), esegue una fase di localizzazione (blocco 17 nella figura 4), che include:

- rilevare, nei segnali di eco ricevuti, la sequenza di segnali di eco radar marchiati trasmessa dal transponder

localizzatore 5;

- estrarre, dalla sequenza di segnali di eco radar marchiati rilevata, il codice di identificazione temporaneo del transponder localizzatore 5;

- formare un'immagine SAR/radar/ISAR sulla base dei segnali di eco ricevuti;

- determinare una posizione del transponder localizzatore 5 nell'immagine SAR/radar/ISAR formata sulla base della sequenza di segnali di eco radar marchiati rilevata;

- indicare la posizione determinata del transponder localizzatore 5 nell'immagine SAR/radar/ISAR formata;

- calcolare le coordinate del transponder localizzatore 5 sulla base dell'immagine SAR/radar/ISAR formata e della posizione del transponder localizzatore 5 nell'immagine SAR/radar/ISAR formata;

- generare dati di posizione che includono le coordinate calcolate del transponder localizzatore 5 e, convenientemente, anche l'immagine SAR/radar/ISAR formata in cui è indicata la posizione determinata del transponder localizzatore 5; e

- fornire al centro di controllo di sistema localizzatore 2 i dati di posizione generati.

Il rilevamento, nei segnali di eco ricevuti, della sequenza di segnali di eco radar marchiati trasmessa dal

transponder localizzatore 5 include convenientemente il rilevamento della porzione di sincronizzazione del segnale di marchiatura a spettro espanso incorporato in detta sequenza di segnali di eco radar marchiati trasmessa dal transponder localizzatore 5.

Inoltre, l'estrazione, dalla sequenza di segnali di eco radar marchiati rilevata, del codice di identificazione temporaneo del transponder localizzatore 5 include convenientemente l'estrazione di detto codice di identificazione temporaneo dalla porzione di informazioni del segnale di marchiatura a spettro espanso incorporato in detta sequenza di segnali di eco radar marchiati rilevata.

Convenientemente, è possibile usare un unico, stesso filtro adattato al chirp sia per la formazione di immagini SAR/radar/ISAR sia per l'elaborazione di localizzazione.

La formazione di un'immagine SAR/radar/ISAR sulla base dei segnali di eco ricevuti include convenientemente:

- rimuovere la sequenza di segnali di eco radar marchiati rilevata dai segnali di eco ricevuti, ottenendo in questo modo segnali di eco privi di marchio; e
- formare un'immagine SAR priva di marchio sulla base dei segnali di eco privi di marchio.

Convenientemente, la sequenza di segnali di eco radar marchiati rilevata può essere rimossa per mezzo di una tecnica di rilevamento multi-utente (ad esempio, è possibile

usare convenientemente una tecnica basata sul criterio MAX/TC).

Facendo nuovamente riferimento alla figura 4, il centro di controllo del sistema localizzatore 2, alla ricezione dei dati di posizione dal sistema sistema SAR/radar/ISAR 4, 7, 8, fornisce all'utente 9 detti dati di posizione (blocco 18 nella figura 4), convenientemente, dopo il pagamento per il servizio di localizzazione da parte di detto utente 9, e, pertanto, detto utente 9 riceve la posizione richiesta (blocco 19 nella figura 4).

Preferibilmente, il transponder localizzatore 5 è configurato inoltre per passare dalla modalità di localizzazione alla modalità di inattività

- dopo un tempo predefinito di funzionamento nella modalità di localizzazione, e/o
- alla ricezione di un segnale RF che trasporta un comando predefinito e trasmesso dal sistema/dalla rete satellitare di comunicazioni 3 / dal sistema di paging 6, o direttamente dal sistema SAR/radar/ISAR 4, 7, 8.

In effetti, ad esempio, dopo che il centro di controllo di sistema localizzatore 2 ha ricevuto i dati di posizione dal sistema SAR/radar/ISAR 4, 7, 8 o, in alternativa, dopo che esso ha fornito all'utente 9 detti dati di posizione, detto centro di controllo di sistema localizzatore 2 può chiedere convenientemente al sistema/alla rete satellitare

di comunicazioni 3 / al sistema di paging 6, o al sistema SAR/radar/ISAR 4, 7, 8, di trasmettere un segnale RF che trasporta un comando predefinito per far sì che il transponder localizzatore 5 passi dalla modalità di localizzazione alla modalità di inattività, in modo da consentire a detto transponder localizzatore 5 di iniziare ad avere nuovamente un consumo di energia molto basso.

Il primo/secondo/terzo sistema localizzatore 1A, 1B, 1C può essere usato solo per la localizzazione o anche per la trasmissione di informazioni da parte del transponder localizzatore 5. In effetti, simultaneamente alla localizzazione o una volta localizzato geograficamente (a seconda della scelta e dell'applicazione), il transponder localizzatore 5 può convenientemente ricevere ordini, dal sistema/dalla rete satellitare di comunicazioni 3 / dal sistema di paging 6, o direttamente dal sistema SAR/radar/ISAR 4, 7, 8, di fornire dati di informazioni con un meccanismo di trasmissione incorporato, in aggiunta o simile alla suddetta fase di marchiatura a spettro espanso (blocco 16 nella figura 4).

Il transponder localizzatore 5, grazie alle sue caratteristiche di funzionamento innovative descritte precedentemente, può essere realizzato convenientemente come un dispositivo estremamente piccolo e leggero (come ad esempio un dispositivo delle dimensioni di una

moneta/medaglia), dotato di una piccola antenna integrata (ad esempio, un'antenna a microstriscia, un'antenna a dipolo ripiegato o un'antenna planare a F invertita (PIFA, Planar Inverted Folded Antenna)) e che può essere alimentato da una batteria molto piccola, essendo ciò nonostante in grado di rimanere attivo per anni senza nessuna sostituzione di batteria (come un semplice orologio digitale).

Inoltre, grazie alla sua dimensione ridotta, il transponder localizzatore 5 può essere disposto sostanzialmente ovunque (se necessario, anche in modo nascosto). Ad esempio, il transponder localizzatore 5 può essere accoppiato convenientemente a un tettuccio di auto/autocarro, a un container per merci, a un sellino di bicicletta, a un iceberg, a una nave/nave da carico, a una tavola da surf, a un animale selvatico, a un casco da sci (sci di fondo), ecc. A questo riguardo, un elenco non esaustivo e non limitativo di esempi di potenziali applicazioni del sistema localizzatore secondo WO2018/162756A1 include:

- la localizzazione di auto, autocarri, biciclette, ecc. persi e di navi da carico, navi, tavole da surf, ecc. perse in mare;
- la localizzazione di effetti personali;
- la mappatura dei flussi migratori di animali;
- il tracciamento di iceberg e piattaforme flottanti;

- la localizzazione di veicoli militari, armi, truppe, ecc. (ad esempio, a scopo di ricerca e soccorso);

- la localizzazione di giubbotti antiproiettile tattici e altre infrastrutture tattiche;

- l'etichettatura di criminali con bassa probabilità di intercettazione;

- l'aumento di visibilità di punti geografici di riferimento per la formazione di immagini SAR;

- il monitoraggio della posizione e dell'integrità di linee elettriche aeree e di tubazioni esterne.

Caratteristiche innovative e vantaggi tecnici del sistema localizzatore secondo WO2018/162756A1 sono riepilogati brevemente qui di seguito:

- uso di un sistema SAR/radar/ISAR (quale ad esempio un sistema SAR/ISAR che impiega uno o più sensori SAR/radar trasportati su satellite (satelliti) e/o velivolo (velivoli) e/o drone (droni) e/o elicottero (elicotteri), ecc. - o un sistema radar di terra, navale/marittimo, avionico o satellitare, ad esempio un radar di rilevamento e ricerca, un radar ATC, un radar meteorologico, ecc.) e di un sistema di comunicazioni radio (ad esempio, un sistema/una rete satellitare di comunicazioni) o un sistema di comunicazioni radio (ad hoc) direttamente integrato nel sistema SAR/radar/ISAR) per localizzare un transponder localizzatore rigenerativo piccolo, leggero, economico e a basso consumo

di energia;

- uso del sistema di comunicazioni radio per il paging e l'attivazione del transponder localizzatore usando una velocità dati estremamente bassa che, come nelle comunicazioni nello spazio profondo, può sostenere un bilancio di collegamento estremamente scarso;

- uso di una tecnica di marchiatura a spettro espanso in un contesto che è completamente diverso rispetto alla tecnica anteriore, ovvero per generare e trasmettere una sequenza di segnali di eco radar marchiati che

- hanno una potenza inferiore, in generale, al livello di potenza di retrodiffusione del rumore di fondo e, in particolare, del livello di potenza del clutter e del rumore, e

- trasportano il codice di identificazione temporaneo di un transponder localizzatore da localizzare per mezzo di un marchio nascosto, seppur rilevabile (in particolare, rilevabile tramite sincronizzazione di codice a spettro espanso);

- uso di codici di identificazione permanenti lunghi per servire una grande comunità di utenti e di codici di identificazione temporanei abbreviati per ridurre al minimo il contenuto di informazioni casuali dei segnali trasmessi dai transponder localizzatori attivi da localizzare simultaneamente;

- cancellazione totale di un marchio da immagini SAR/radar/ISAR tramite una tecnica di rilevamento multi-utente (ad esempio, basata sul criterio MAX/TC);

- possibilità di usare il sistema localizzatore anche per la trasmissione di informazioni da parte dei transponder localizzatori;

- nessun deterioramento del normale funzionamento SAR/radar/ISAR;

- uso di una potenza di trasmissione estremamente bassa da parte dei transponder localizzatori (ad esempio, una potenza di trasmissione di 1 mW) grazie alla combinazione di rigenerazione e concetto di guadagno di processo a spettro espanso;

- possibilità di sfruttare immediatamente sistemi SAR, radar e ISAR esistenti;

- possibilità di usare un unico, stesso filtro adattato al chirp per elaborazioni sia SAR/radar/ISAR sia di localizzazione.

#### **OBIETTIVO E RIEPILOGO DELL'INVENZIONE**

La Richiedente ha scartato una soluzione non rigenerativa per i transponder localizzatori del sistema localizzatore secondo WO2018/162756A1, dato che i transponder non rigenerativi esistenti sono voluminosi e richiedono antenne grandi (ad esempio, con diametri dell'ordine di mezzo metro) per migliorare il bilancio di

collegamento che, nel caso di una soluzione non rigenerativa, aggiunge rumore nel collegamento discendente e nel collegamento ascendente.

D'altra parte, durante lo sviluppo del sistema localizzatore secondo WO2018/162756A1, la Richiedente ha notato che la soluzione rigenerativa adottata richiede un recupero di frequenza di portante preciso da parte dei transponder localizzatori. Di fatto, per una localizzazione precisa di un transponder localizzatore, è necessario che la portante dei segnali trasmessi da detto transponder localizzatore rimanga stabile e precisa per tutto il periodo di contatto con il sistema SAR/radar/ISAR.

In realtà, supponendo che venga usato un sistema SAR satellitare, anche una piccola deviazione o deriva della frequenza di portante usata nella trasmissione determina un'impresione nella localizzazione (ad esempio, una deriva di 1 Hz può determinare un'impresione di circa 5 metri). In aggiunta, se l'errore di frequenza iniziale non è ridotto entro un intervallo limitato, la quantità di elaborazione richiesta per rilevare i segnali da un transponder localizzatore può diventare eccessiva (di fatto, potrebbe essere necessario eseguire una ricerca su un intervallo di frequenze molto più ampio).

Pertanto, per mantenere la precisione della localizzazione tipica di un SAR, il transponder

localizzatore dovrebbe essere dotato di un oscillatore locale in grado di mantenere la sua frequenza istantanea entro  $\pm 1$  Hz intorno a una frequenza portante nominale di, ad esempio, 10 GHz per tutto il periodo di contatto con il sistema SAR satellitare (ad esempio per un intervallo di tempo di circa 1 secondo) e che ha un errore di frequenza iniziale limitato quando viene acceso. Inoltre, requisiti simili di stabilità e precisione dell'oscillatore locale si applicano anche, mutatis mutandis, a un caso di SAR non satellitare e ai casi di radar e ISAR.

Alla luce di quanto sopra, la soluzione rigenerativa adottata impone inevitabilmente una scelta: accettare una forte degradazione nella localizzazione dovuta all'uso di un oscillatore locale economico, a basso consumo di energia e scarsamente preciso o adottare un oscillatore locale costoso, a consumo di energia molto elevato e preciso (ad esempio un oscillatore a cristallo controllato a forno) per una migliore precisione della localizzazione e per una riduzione di elaborazione di localizzazione.

Pertanto, un obiettivo della presente invenzione è quello di fornire, entro l'ambito di protezione del sistema localizzatore e del metodo e del servizio di localizzazione secondo WO2018/162756A1, una soluzione con sincronizzazione in frequenza che consenta di evitare di degradare la precisione della localizzazione, senza imporre l'uso di un

oscillatore locale costoso e a consumo di energia molto elevato e senza richiedere una ricerca di segnali di transponder localizzatori in un intervallo di frequenza ampia.

Più in generale, l'obiettivo della presente invenzione è quello di fornire, entro l'ambito di protezione del sistema localizzatore e del metodo e del servizio di localizzazione secondo WO2018/162756A1, una soluzione innovativa che consenta a transponder localizzatori di eseguire una sincronizzazione in frequenza in modo affidabile e preciso.

In aggiunta, un ulteriore obiettivo della presente invenzione è quello di fornire, entro l'ambito di protezione del sistema localizzatore e del metodo del servizio di localizzazione secondo WO2018/162756A1, una soluzione innovativa che consenta a transponder localizzatori di eseguire anche una sincronizzazione temporale in modo affidabile e preciso.

Questi e altri obiettivi sono conseguiti dalla presente invenzione in quanto essa è relativa a un metodo di localizzazione, a un sistema localizzatore e a un transponder localizzatore, come definito nelle rivendicazioni allegate.

In particolare, la presente invenzione riguarda un metodo di localizzazione per localizzare un bersaglio accoppiato a un transponder localizzatore associato ad un codice di identificazione permanente assegnato

permanentemente a detto transponder localizzatore. Detto metodo di localizzazione comprendendo:

a) alla ricezione di una richiesta di un utente di localizzare il bersaglio, trasmettere, tramite un sistema di comunicazioni radio, un segnale di paging a spettro espanso che trasporta il codice di identificazione permanente e un codice di identificazione temporaneo assegnato temporaneamente al transponder localizzatore, in cui detto codice di identificazione temporaneo è più corto di detto codice di identificazione permanente;

b) ricevere, tramite il transponder localizzatore, il segnale di paging a spettro espanso ed estrarre, tramite detto transponder localizzatore, il codice di identificazione temporaneo trasportato dal segnale di paging a spettro espanso ricevuto;

c) trasmettere, tramite un sistema basato su radar, segnali radar verso una o più aree della superficie terrestre o del cielo e ricevere, tramite detto sistema basato su radar, segnali di eco da detta una o più aree della superficie terrestre o del cielo;

d) alla ricezione da parte del transponder localizzatore di uno o più segnali radar trasmessi dal sistema basato su radar, generare e trasmettere, tramite detto transponder localizzatore, una sequenza di segnali di eco radar marchiati in cui è incorporato un segnale di

marchiatura a spettro espanso, in cui detto segnale di marchiatura a spettro espanso trasporta il codice di identificazione temporaneo estratto; e

e) eseguire, tramite il sistema basato su radar, operazioni di localizzazione che includono

- rilevare, nei segnali di eco ricevuti, la sequenza di segnali di eco radar marchiati trasmessa dal transponder localizzatore,

- estrarre il codice di identificazione temporaneo trasportato dal segnale di marchiatura a spettro espanso incorporato nella sequenza rilevata di segnali di eco radar marchiati, e

- determinare una posizione del transponder localizzatore sulla base della sequenza rilevata di segnali di eco radar marchiati.

In aggiunta, il metodo di localizzazione comprende inoltre:

f) trasmettere, tramite il sistema di comunicazioni radio, uno o più segnali di agevolazione di sincronizzazione in frequenza; e

g) ricevere, tramite il transponder localizzatore, il segnale (i segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza e stimare, tramite detto transponder localizzatore, in base al segnale (ai segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza ricevuto

(ricevuti), una deriva di frequenza che interessa una frequenza di riferimento fornita da un oscillatore locale di detto transponder localizzatore.

Pertanto, il transponder localizzatore trasmette la sequenza di segnali di eco radar marchiati usando una frequenza portante di trasmissione ottenuta in base alla frequenza di riferimento fornita dall'oscillatore locale e alla deriva di frequenza stimata.

Preferibilmente, il metodo di localizzazione comprende inoltre:

h) trasmettere, tramite il sistema di comunicazioni radio, uno o più segnali relativi a segnalazione che trasportano dati di segnalazione indicanti uno o più parametri operativi del sistema basato su radar;

i) ricevere, tramite il transponder localizzatore, il segnale relativo a segnalazione (i segnali relativi a segnalazione) ed estrarre, tramite detto transponder localizzatore, i dati di segnalazione trasportati dal segnale relativo a segnalazione ricevuto (dai segnali relativi a segnalazione ricevuti); e

j) stimare, tramite il transponder localizzatore, in base ai segnali radar ricevuti dal sistema basato su radar e sui dati di segnalazione estratti, parametri di temporizzazione dei segnali radar ricevuti.

Pertanto, il transponder localizzatore trasmette

preferibilmente la sequenza di segnali di eco radar marchiati usando i parametri di temporizzazione stimati.

Convenientemente, stimare la deriva di frequenza include eseguire:

- una stima grossolana della deriva di frequenza in base al segnale di paging a spettro espanso ricevuto; e

- una stima fine della deriva di frequenza in base alla stima grossolana della deriva di frequenza e al segnale (ai segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza ricevuto (ricevuti).

Convenientemente, il sistema di comunicazioni radio è un sistema di comunicazioni radio satellitare e il metodo di localizzazione comprende inoltre:

- trasmettere, da una stazione a terra al sistema di comunicazioni radio satellitare, il segnale (i segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza che deve essere trasmesso (che devono essere trasmessi) da detto sistema di comunicazioni radio satellitare;

- ricevere, tramite la stazione a terra, il segnale (i segnali) di agevolazione di sincronizzazione trasmesso (trasmessi) dal sistema di comunicazioni radio satellitare;

- rilevare, tramite la stazione a terra, errori e/o spostamenti che interessano il segnale (i segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza ricevuto (ricevuti);

- correggere, tramite la stazione a terra, il segnale (i segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza ricevuto (ricevuti) per compensare gli errori e/o gli spostamenti rilevati; e

- ritrasmettere, tramite la stazione a terra, il segnale (i segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza corretto (corretti) al sistema di comunicazioni radio satellitare che ritrasmette detto segnale (detti segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza.

#### **BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI**

Per una migliore comprensione della presente invenzione, verranno ora descritte forme di realizzazione preferite, intese puramente a titolo di esempi non limitativi, con riferimento ai disegni allegati (tutti non in scala), in cui:

- le figure 1, 2 e 3 illustrano schematicamente tre esempi di sistema localizzatore descritti in WO2018/162756A1;

- la figura 4 illustra schematicamente un metodo di localizzazione eseguito, nell'uso, dai sistemi localizzatori delle figure 1, 2 e 3;

- la figura 5 illustra schematicamente un sistema localizzatore secondo una forma di realizzazione non limitativa preferita della presente invenzione;

- la figura 6 illustra schematicamente operazioni

eseguite, nell'uso, da un sistema di comunicazioni radio del sistema localizzatore della figura 5 secondo una forma di realizzazione non limitativa preferita della presente invenzione;

- la figura 7 illustra schematicamente operazioni eseguite, nell'uso, da un transponder localizzatore del sistema localizzatore della figura 5 secondo una forma di realizzazione non limitativa preferita della presente invenzione;

- la figura 8 illustra schematicamente interazioni, nell'uso, di detto transponder localizzatore con detto sistema di comunicazioni radio secondo una forma di realizzazione non limitativa preferita della presente invenzione;

- la figura 9 illustra schematicamente interazioni, nell'uso, di detto transponder localizzatore con un sistema basato su radar del sistema localizzatore della figura 5 secondo una forma di realizzazione non limitativa preferita della presente invenzione;

- la figura 10 illustra schematicamente una forma di realizzazione non limitativa preferita di un aspetto della presente invenzione;

- la figura 11 illustra schematicamente un esempio di macchina a stati finiti (FSM, Finite State Machine) progettata per eseguire una fase di sincronizzazione

temporale secondo una forma di realizzazione non limitativa preferita della presente invenzione;

- la figura 12 illustra schematicamente un esempio di problemi di ambiguità di range e azimuth per un caso di SAR satellitare;

- la figura 13 illustra schematicamente uno scenario tipico di sistemi SAR esistenti in cui tutte le informazioni nella localizzazione di azimuth sono contenute in un intervallo di  $\pm 1000$  Hz;

- la figura 14 è relativa a un calcolo tipico del jitter residuo di un riferimento di orologio;

- le figure 15 e 16 mostrano che l'uso di una finestra temporale (ossia un'osservazione limitata nel tempo di un tono) determina, nel dominio della frequenza, uno smearing (formazione di un alone) spettrale della linea spettrale di tono originale;

- la figura 17 illustra schematicamente un tipico schema di modulazione-demodulazione usato per comunicazioni nello spazio profondo e sfruttabile per la trasmissione e la ricezione di un segnale di paging a spettro espanso secondo una forma di realizzazione non limitativa preferita della presente invenzione;

- la figura 18 mostra un esempio di segnale generato usando lo schema di modulazione-demodulazione della figura 17;

- la figura 19 illustra schematicamente un esempio non limitativo di architettura di sezione di ricezione per il paging a spettro espanso e la ricezione di segnali radar da parte di detto transponder localizzatore secondo una forma di realizzazione non limitativa preferita della presente invenzione;

- la figura 20 illustra schematicamente un esempio non limitativo di architettura di sezione di ricezione per la ricezione di segnale di agevolazione di sincronizzazione in frequenza da parte di detto transponder localizzatore secondo una forma di realizzazione non limitativa preferita della presente invenzione;

- la figura 21 illustra schematicamente un esempio non limitativo di architettura per un oscillatore locale di detto transponder localizzatore secondo una forma di realizzazione non limitativa preferita della presente invenzione; e

- la figura 22 è relativa al guadagno di un segnale a spettro espanso trasmesso tramite un transponder satellitare trasparente, in cui viene usato lo spettro espanso per fornire un guadagno elevato evitando al contempo un forte squilibrio tra segnali di collegamento ascendente e di collegamento discendente.

#### **DESCRIZIONE DETTAGLIATA DI FORME DI REALIZZAZIONE**

#### **PREFERITE DELL'INVENZIONE**

Durante lo sviluppo del sistema localizzatore secondo

WO2018/162756A1, la Richiedente ha deciso di adottare, per il transponder localizzatore, una soluzione con riferimento in frequenza basata sull'uso di un oscillatore locale economico, a basso consumo di energia e scarsamente preciso in modo tale che il transponder localizzatore possa essere effettivamente un dispositivo di piccole dimensioni, leggero, economico e a basso consumo di energia.

La Richiedente, pertanto, ha compreso che, se l'oscillatore locale non è preciso e stabile, il recupero di frequenza portante dovrebbe essere eseguito in base a un collegamento diverso da quello SAR/radar/ISAR, dato che il periodo di contatto con il sistema SAR/radar/ISAR è troppo breve (ad esempio, 1s) per consentire al transponder localizzatore di eseguire un recupero di frequenza portante preciso e successivamente trasmettere i segnali di eco radar marchiati con frequenza portante precisa e stabile. In altre parole, il recupero di frequenza portante è un processo che richiede molto tempo e non può essere completato (o, in ogni caso, che non può essere eseguito con la precisione necessaria per ottenere la precisione della localizzazione desiderata) entro il periodo (estremamente breve) di contatto con il sistema SAR/radar/ISAR.

Al contrario, la Richiedente ha compreso che una stima di temporizzazione di segnale radar precisa può essere eseguita in base al collegamento SAR/radar/ISAR durante il

periodo di contatto con il sistema SAR/radar/ISAR in modo tale che il transponder localizzatore abbia ancora abbastanza tempo per trasmettere i segnali di eco radar marchiati con temporizzazione di segnale precisa e stabile.

La presente invenzione nasce dalle considerazioni di cui sopra della Richiedente e dalle conseguenti scelte di progettazione innovative effettuate dalla Richiedente.

Per una migliore comprensione della presente invenzione, la figura 5 illustra schematicamente un sistema localizzatore (indicato complessivamente con 20) secondo una forma di realizzazione non limitativa preferita della presente invenzione. In particolare, come mostrato nella figura 5, il sistema localizzatore 20 include:

- un centro di controllo di sistema localizzatore 21 progettato per funzionare come il centro di controllo di sistema localizzatore 2 secondo WO2018/162756A1 mostrato nelle figure da 1 a 4 descritto precedentemente in dettaglio;
- un sistema di comunicazioni radio 22 progettato per
  - funzionare come il sistema/la rete satellitare di comunicazioni 3 secondo WO2018/162756A1 mostrato nelle figure 1 e 4 e descritto precedentemente in dettaglio, e/o come il sistema di paging 6 secondo WO2018/162756A1 mostrato nelle figure da 2 a 4 e descritto precedentemente in dettaglio, e
  - eseguire anche operazioni aggiuntive secondo la

presente invenzione (che saranno descritte in dettaglio nel seguito);

- un sistema basato su radar 23 progettato per funzionare come il sistema SAR 4 secondo WO2018/162756A1 mostrato nelle figure 1 e 4 e descritto precedentemente in dettaglio, e/o come il sistema radar 7 secondo WO2018/162756A1 mostrato nelle figure 2 e 4 e descritto precedentemente in dettaglio, e/o come il sistema ISAR 8 secondo WO2018/162756A1 mostrato nelle figure 3 e 4 e descritto precedentemente in dettaglio; e

- un transponder localizzatore 24 progettato per
  - funzionare come il transponder localizzatore 5 secondo WO2018/162756A1 mostrato nelle figure da 1 a 4 e descritto precedentemente in dettaglio, e
  - eseguire anche operazioni aggiuntive secondo la presente invenzione (che saranno descritte in dettaglio nel seguito).

A questo riguardo, vale la pena notare che, tenendo conto della precedente descrizione dettagliata delle caratteristiche tecniche del primo, del secondo e del terzo sistema localizzatore 1A, 1B, 1C e del relativo metodo di localizzazione secondo WO2018/162756A1, d'ora in avanti dette caratteristiche tecniche non saranno descritte nuovamente, rimanendo valido quanto è stato affermato precedentemente.

Al contrario, d'ora in avanti saranno descritte in dettaglio caratteristiche/operazioni aggiuntive innovative secondo la presente invenzione. A questo riguardo, si fa riferimento a:

- la figura 6 che illustra schematicamente operazioni eseguite, nell'uso, dal sistema di comunicazioni radio 22;

- la figura 7 che illustra schematicamente operazioni eseguite, nell'uso, dal transponder localizzatore 24;

- la figura 8 che illustra schematicamente interazioni, nell'uso, del transponder localizzatore 24 con il sistema di comunicazioni radio 22; e

- la figura 9 che illustra schematicamente interazioni, nell'uso, del transponder localizzatore 24 con il sistema basato su radar 23.

In particolare, con riferimento specifico alla figura 6, il sistema di comunicazioni radio 22 è configurato per eseguire:

- una fase di paging 31 che corrisponde alla fase di paging 13 del metodo di localizzazione secondo WO2018/162756A1 mostrato nella figura 4 e descritto precedentemente in dettaglio;

- una fase di segnalazione 32 che include trasmettere uno o più segnali relativi a segnalazione che trasportano dati di segnalazione indicanti uno o più parametri operativi del sistema basato su radar 23; e

- una fase di abilitazione di recupero di portante 33 che include trasmettere uno o più segnali di agevolazione di sincronizzazione in frequenza che devono essere usati dal transponder localizzatore 24 per il recupero di frequenza portante.

Il transponder localizzatore 24 è dotato di un oscillatore locale configurato per fornire una frequenza di riferimento (ovvero, un segnale periodico avente una frequenza di riferimento) che deve essere usata da detto transponder localizzatore 24 per trasmettere i segnali di eco radar marchiati.

In particolare, con riferimento alle figure 7 e 8, il transponder localizzatore 24 è configurato per:

- eseguire una fase di attivazione 41 che corrisponde alla fase di attivazione 14 del metodo di localizzazione secondo WO2018/162756A1 mostrato nella figura 4 e descritto precedentemente in dettaglio, in cui detta fase di attivazione 41 include passare dalla modalità di inattività alla modalità di localizzazione quando il transponder localizzatore 24 riceve un segnale di paging a spettro espanso che è stato trasmesso dal sistema di comunicazioni radio 22 nella fase di paging 31 e che trasporta il codice di identificazione permanente associato a detto transponder localizzatore 24;

- ricevere il segnale relativo a segnalazione (i segnali

relativi a segnalazione) e il segnale (i segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza trasmessi dal sistema di comunicazioni radio 22;

- estrarre i dati di segnalazione dal segnale relativo a segnalazione ricevuto (dai segnali relativi a segnalazione ricevuti) (blocco 42 nella figura 7 denominato "Estrazione di dati di segnalazione"); e

- eseguire una fase di sincronizzazione in frequenza 43 che include stimare, in base al segnale (ai segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza ricevuto (ricevuti), una deriva di frequenza che interessa la frequenza di riferimento fornita dall'oscillatore locale.

Convenientemente, il transponder localizzatore è configurato per eseguire:

- nella fase di attivazione 41, una stima grossolana della deriva di frequenza, che include stimare in maniera grossolana la deriva di frequenza che interessa la frequenza di riferimento fornita dall'oscillatore locale e che è eseguita in base al segnale di paging a spettro espanso ricevuto; e

- nella fase di sincronizzazione in frequenza 43, una stima fine della deriva di frequenza che include stimare in modo fine la deriva di frequenza in base alla stima grossolana della deriva di frequenza eseguita nella fase di attivazione 41 e al segnale (ai segnali) di agevolazione di

sincronizzazione in frequenza ricevuto (ricevuti).

Come mostrato nella figura 9 descritta in dettaglio sopra e in WO2018/162756A1, una volta attivata la localizzazione SAR/radar/ISAR (blocco 15 nella figura 4), il sistema basato su radar 23 trasmette segnali radar verso una o più aree della superficie terrestre o del cielo (blocco 51 nella figura 9 denominato "Trasmissione di segnali radar").

Inoltre, con riferimento alle figure 7 e 9, il transponder localizzatore 24 è configurato inoltre per:

- eseguire una fase di sincronizzazione temporale 44 che include stimare, in base a segnali radar ricevuti dal sistema basato su radar 23 e ai dati di segnalazione estratti, parametri di temporizzazione dei segnali radar ricevuti; e

- generare e trasmettere segnali di eco radar marchiati (blocco 45 nelle figure 7 e 9 denominato "Generazione e trasmissione di segnali di eco radar marchiati") usando

- una frequenza portante di trasmissione ottenuta in base alla frequenza di riferimento fornita dall'oscillatore locale e dalla deriva di frequenza stimata nella fase di sincronizzazione in frequenza 43, e

- i parametri di temporizzazione stimati nella fase di sincronizzazione temporale 44.

Riformulando in altre parole quanto sopra, il sistema di comunicazioni radio 22, nell'uso, trasmette:

- un segnale di paging a spettro espanso (fase di paging - blocco 31 nelle figure 6 e 8) secondo gli insegnamenti di WO2018/162756A1 e come descritto in dettaglio in precedenza;

- uno o più segnali relativi a segnalazione (fase di segnalazione - blocco 32 nelle figure 6 e 8) che trasportano dati di segnalazione indicanti uno o più parametri operativi del sistema basato su radar 23 (ad esempio, intervallo di ripetizione di impulso (PRI, Pulse Repetition Interval) nominale e/o frequenza di ripetizione di impulso (PRF) nominale e, convenientemente, anche forma d'onda di segnale radar (ossia forma d'onda di chirp), ecc.); e

- uno o più segnali di agevolazione di sincronizzazione in frequenza (fase di abilitazione di recupero di portante - blocco 33 nelle figure 6 e 8) che devono essere usati dal transponder localizzatore 24 per eseguire la fase di sincronizzazione in frequenza 43 (ad esempio, è possibile usare un tono a banda estremamente stretta o un segnale a spettro espanso, entrambe le soluzioni consentendo di attenuare le criticità di sincronizzazione in frequenza e di sostenere un bilancio di collegamento critico e scarso).

In particolare, il segnale relativo a segnalazione (i segnali relativi a segnalazione) e il segnale (i segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza sono trasmessi dopo la trasmissione del segnale di paging a spettro espanso. Convenientemente, il segnale relativo a segnalazione (i

segnali relativi a segnalazione) e il segnale (i segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza sono trasmessi in momenti diversi e/o a frequenze diverse e/o usando codici a spettro espanso diversi o, in alternativa, usando modulazioni di portante residua simultaneamente.

Inoltre, il transponder localizzatore 24, nell'uso, esegue le seguenti operazioni:

- alla ricezione di un segnale di paging che trasporta il suo codice di identificazione permanente, esso si attiva (fase di attivazione - blocco 41 nelle figure 7 e 8) passando dalla modalità di inattività alla modalità di localizzazione secondo gli insegnamenti di WO2018/162756A1 e come descritto in dettaglio precedentemente (e, convenientemente, esso inoltre stima la, o si aggancia alla, deriva di frequenza in modo grossolano che interessa la frequenza di riferimento fornita dal suo oscillatore locale);

- alla ricezione del segnale relativo a segnalazione (dei segnali relativi a segnalazione) dal sistema di comunicazioni radio 22, esso estrae da esso (da essi) i dati di segnalazione (fase di estrazione dei dati di segnalazione - blocco 42 nelle figure 7 e 8);

- alla ricezione del segnale (dei segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza dal sistema di comunicazioni radio 22, esso stima (o, convenientemente, stima in maniera fine) la deriva di frequenza che interessa

la frequenza di riferimento fornita dal suo oscillatore locale (fase di sincronizzazione in frequenza - blocco 43 nelle figure 7 e 8);

- alla ricezione di segnali radar provenienti dal sistema basato su radar 23, esso stima parametri di temporizzazione dei segnali radar ricevuti (ad esempio, PRI effettivo (che può differire da quello nominale), tempo di arrivo (TOA, Time Of Arrival) del primo chirp radar ricevuto, ecc.) in base a detti segnali radar ricevuti e ai dati di segnalazione estratti (fase di sincronizzazione temporale - blocco 44 nelle figure 7 e 8); e,

- infine, essa genera e trasmette (secondo gli insegnamenti di WO2018/162756A1 e come descritto in dettaglio precedentemente) segnali di eco radar marchiati (fase di generazione e trasmissione di segnali di eco radar marchiati - blocco 45 nelle figure 7 e 9) usando

- una frequenza portante di trasmissione ottenuta in base alla frequenza di riferimento fornita dall'oscillatore locale e alla deriva di frequenza stimata in modo fine, e
- i parametri di temporizzazione stimati.

In questo modo, il transponder localizzatore 24 dotato della capacità di trasmettere chirp radar generati localmente con una temporizzazione esatta e una stabilità e una precisione di frequenza elevate (ad esempio, una stabilità di frequenza di +/-1 Hz a 10 GHz) mantenuto per

tutto il periodo di contatto con il sistema basato su radar 23.

In particolare, vale la pena notare che il meccanismo di recupero di portante secondo la presente invenzione (che si basa sulla fase di abilitazione di recupero di portante 33 eseguita dal sistema di comunicazioni radio 22 e sulla fase di sincronizzazione di frequenza 43 eseguita dal transponder localizzatore 24) consente di usare un oscillatore locale a microonde economico, a basso consumo di energia e scarsamente preciso (quale ad esempio un oscillatore a microonde ad aggancio di fase economico e a basso consumo di energia con una precisione e una stabilità nativamente scarse), che può persino essere interessato da un errore di frequenza iniziale piuttosto elevato (ad esempio, di circa 100 kHz) quando viene acceso. Infatti, il meccanismo di recupero di portante secondo la presente invenzione è tale da consentire di stimare precisamente la deriva di frequenza che interessa la frequenza di riferimento fornita dall'oscillatore locale e, pertanto, di ottenere una frequenza portante precisa e stabile da usare nella trasmissione, conseguendo in questo modo la precisione e la stabilità di frequenza necessarie (e, pertanto, la precisione della localizzazione desiderata). Ad esempio, il meccanismo di recupero di portante secondo la presente invenzione consente di mantenere una frequenza istantanea

entro  $\pm 1$  Hz intorno a una frequenza portante nominale di 10 GHz per tutto il periodo di contatto con il sistema basato su radar 23 (ad esempio, per un intervallo di tempo di circa 1 secondo).

Convenientemente, la fase di sincronizzazione temporale 44 è eseguita per mezzo di una macchina a stati finiti (FSM) - ovvero, il transponder localizzatore 24 è configurato per implementare una FSM - che è progettata per ridurre al minimo la probabilità di un rilevamento falso e la probabilità di un rilevamento mancato.

A questo riguardo, vale la pena notare che, tipicamente, chirp radar trasmessi da sistemi SAR/radar/ISAR attuali hanno una potenza sufficiente da consentire di stimare la temporizzazione di chirp (ad esempio, PRI effettivo, TOA, ecc.) in base anche a un numero molto limitato di chirp rilevati.

Per comprendere meglio la presente invenzione, vale la pena notare che la localizzazione del transponder localizzatore 24 (che, convenientemente, anche la misurazione/stima di uno o più parametri/una o più caratteristiche di interesse relativi a detto transponder localizzatore 24, come ad esempio la sua velocità) eseguita dal sistema localizzatore 20 si basa (si basano) su due misurazioni principali: la temporizzazione e la frequenza centrale (variabile dinamicamente) della portante dei

segnali di eco radar marchiati provenienti dal transponder localizzatore 24 ricevuti dal sistema basato su radar 23. Pertanto, per conseguire prestazioni di localizzazione estremamente elevate, come spiegato precedentemente, la sincronizzazione temporale e in frequenza è eseguita dal transponder localizzatore 24 viene suddivisa in due fasi, ovvero la fase di sincronizzazione in frequenza 43 assistita dal sistema di comunicazioni radio 22 e la fase di sincronizzazione temporale 44 basata sui segnali radar ricevuti dal sistema basato su radar 23 e sui dati di segnalazione ricevuti dal sistema di comunicazioni radio 22. Quanto alla fase di sincronizzazione in frequenza 43, è importante notare che una stima precisa della frequenza portante può essere un processo che richiede molto tempo che non può essere eseguito direttamente sulla base dei segnali radar ricevuti dal sistema basato su radar 23 per via di un periodo di contatto troppo breve del transponder localizzatore 23 con il sistema basato su radar 23.

Inoltre, vale la pena notare anche che il fatto di eseguire la fase di sincronizzazione in frequenza 43 (ossia il recupero di portante) prima della fase di sincronizzazione temporale 44 migliora anche la precisione della stima dei parametri di temporizzazione in detta fase di sincronizzazione temporale 44, con un effetto di fertilizzazione reciproca (cross-fertilization).

Alla luce di quanto sopra, il transponder localizzatore è dotato della capacità di:

- avere la frequenza portante già allineata/sincronizzata quando illuminata dai segnali radar trasmessi dal sistema basato su radar 23;
  - stimare il TOA dei segnali radar ricevuti e passare rapidamente nella modalità di trasmissione durante il periodo di contatto con il sistema basato su radar 23, sfruttando sinergicamente
- la frequenza portante di trasmissione ottenuta in base alla frequenza di riferimento fornita dal suo oscillatore locale e alla deriva di frequenza stimata nella fase di sincronizzazione di frequenza 43, e
- i parametri di temporizzazione stimati nella fase di sincronizzazione temporale 44 (ad esempio, il PRI effettivo stimato in base ai segnali radar ricevuti dal sistema basato su radar 23 e il PRI nominale ricevuto, come dati di segnalazione, dal sistema di comunicazioni radio 22), conseguendo in questo modo la massima precisione della localizzazione;
- rispondere con la massima precisione dopo aver ricevuto alcune forme d'onda radar (ad esempio chirp); e
  - continuare a stimare la deriva di frequenza in base al segnale (ai segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza dal sistema di comunicazioni radio 22 anche

durante la ricezione dei segnali radar dal sistema basato su radar 23 o, se necessario, anche durante la trasmissione dei segnali di eco radar marchiati.

Secondo una prima forma di realizzazione preferita della presente invenzione, il sistema di comunicazioni radio 22 può essere convenientemente un sistema di telecomunicazioni, preferibilmente un sistema di telecomunicazioni satellitare (come ad esempio un sistema di telecomunicazioni che impiega un satellite geostazionario o una costellazione di satelliti geostazionari). Questa prima forma di realizzazione preferita consente sostanzialmente un uso immediato della presente invenzione (ossia in uno scenario a breve termine).

Secondo invece una seconda forma di realizzazione preferita della presente invenzione, il sistema di comunicazioni radio 22 può essere integrato convenientemente con il sistema basato su radar 23 a bordo di una stessa piattaforma o più stesse piattaforme (ad esempio, uno stesso satellite e/o velivolo e/o drone e/o elicottero e/o piattaforma di terra e/o veicolo terrestre e/o unità navale, o più stessi satelliti e/o velivoli e/o droni e/o elicotteri e/o piattaforme di terra e/o veicoli terrestri e/o unità navali, ecc.). Questa seconda forma di realizzazione preferita potrebbe essere sfruttata convenientemente in uno scenario a medio termine (ad esempio, quando sarà possibile

produrre e lanciare nuovi satelliti dotati sia di un sensore SAR sia di un'unità di telecomunicazioni progettata per funzionare come il sistema di comunicazione radio 22). In questo caso, il periodo di contatto del transponder localizzatore 23 con il sistema di comunicazioni radio 24 è molto più lungo del periodo di contatto del transponder localizzatore 23 con il sistema basato su radar 23 per via del fatto che un sistema SAR/radar/ISAR, per funzionare correttamente, richiede tipicamente un'antenna molto più direttiva di quelle usate per comunicazioni radio.

Convenientemente, il sistema basato su radar 23 può essere:

- un sistema SAR (come ad esempio un sistema SAR che impiega uno o più sensori SAR trasportati su satellite (satelliti) e/o velivolo (velivoli) e/o drone (droni) e/o elicottero (elicotteri), ecc.),

- un sistema ISAR (come ad esempio un sistema ISAR che impiega uno o più sensori radar trasportati su satellite (satelliti) e/o velivolo (velivoli) e/o drone (droni) e/o elicottero (elicotteri), ecc.);

- o anche un sistema radar generico (quale ad esempio un sistema radar di terra, navale/marittimo, avionico o satellitare - ad esempio un radar di rilevamento e ricerca, un radar ATC, un radar meteorologico, ecc.).

La figura 10 illustra schematicamente una forma di

realizzazione non limitativa preferita di un aspetto della presente invenzione. In particolare, la figura 10 mostra l'uso, come sistema di comunicazioni radio 22, di un satellite di telecomunicazioni 221 (ad esempio, un satellite geostazionario di telecomunicazioni) alimentato/controllato da una stazione a terra 25 per fornire al transponder localizzatore 24 un collegamento di attivazione, di segnalazione e di sincronizzazione (ossia per trasmettere ad esso il segnale di paging a spettro espanso, il segnale relativo a segnalazione (i segnali relativi a segnalazione) e il segnale (i segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza). Convenientemente, il centro di controllo di sistema localizzatore 21 potrebbe essere integrato nella stazione a terra 25 o connesso in remoto ad essa.

Come mostrato nella figura 10, è possibile sfruttare convenientemente un collegamento di tracciamento (tracking) ad anello chiuso relativo a sincronizzazione di collegamento discendente, tra il satellite di telecomunicazioni 221 e la stazione a terra 25, per annullare qualsiasi errore/spostamento Doppler satellitare e qualsiasi errore/deriva dell'oscillatore di bordo del satellite di telecomunicazioni 221, garantendo in questo modo che il segnale (i segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza consegnato (consegnati) al transponder localizzatore sia buono (siano buoni) esattamente quanto il

riferimento disponibile in corrispondenza della stazione a terra 25 (ad esempio, un riferimento di orologio al rubidio). Dato che questa correzione per lo più annulla variazioni di frequenza lente, ciò è fattibile nonostante il ritardo di andata e ritorno dalla stazione di terra 25 al satellite di telecomunicazioni 221 e ritorno.

In altre parole, questo meccanismo di tracciamento ad anello chiuso relativo a sincronizzazione consente alla stazione di terra 25 di misurare l'errore ad anello chiuso introdotto dal satellite di telecomunicazioni 221 in modo tale che qualsiasi errore dovuto a un collegamento di comunicazione non ideale sia corretto e il segnale (i segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza smistato (smistati) al transponder localizzatore 24 tenda (tendano) alla precisione originale del riferimento in frequenza disponibile in corrispondenza della stazione di terra 25. Ad esempio, la correzione ad anello chiuso eseguita dalla stazione di terra 25 annulla qualsiasi effetto Doppler dovuto a un movimento del satellite e/o a qualsiasi deriva dell'oscillatore di bordo (o errore dovuto all'oscillatore di bordo) del satellite.

Secondo la seconda forma di realizzazione preferita di cui sopra della presente invenzione, il satellite di telecomunicazioni 221 può essere dotato convenientemente anche di un sensore SAR, integrando in questo modo anche il

sistema basato su radar 23.

Per una migliore comprensione della presente invenzione, saranno forniti di seguito vari esempi non limitativi di implementazione di caratteristiche/ aspetti/componenti diversi della presente invenzione e osservazioni teoriche correlate.

### **1. Fasi di paging e attivazione**

Convenientemente, nelle fasi di paging e attivazione 31 e 41, la precisione di sincronizzazione in frequenza minima sufficiente per consentire il rilevamento di segnale di paging a spettro espanso è conseguita dal transponder localizzatore 24 per mezzo di una circuiteria a consumo di energia molto basso, che non è necessariamente sempre accesa, ma può essere convenientemente accesa e spenta a seconda della lunghezza e della periodicità del segnale di paging a spettro espanso smistato ai transponder localizzatori dal sistema di comunicazioni radio 22 in modalità broadcast. È possibile definire convenientemente compromessi per il tempo di accensione e alla durata delle fasi di paging e attivazione 31 e 41 che contribuiscono al tempo di localizzazione complessivo.

Per facilitare la sincronizzazione in frequenza grossolana eseguita dal transponder localizzatore 24 nella fase di attivazione 41, una modulazione di tono residuo diretta o un tono non modulato espanso a spettro espanso

possono essere usati convenientemente dal sistema di comunicazioni radio 22 nella fase di paging 31. Il trasferimento di informazioni può essere eseguito convenientemente in modi diversi che includono dati modulati a spettro espanso ubicati su sottoportante, con un codice dedicato specifico (come avviene tipicamente, anche se per motivi diversi, nelle comunicazioni nello spazio profondo). Nel presente caso, il tono residuo garantisce la sincronizzazione in frequenza sufficiente per il rilevamento di segnale di paging a spettro espanso, mentre la diffusione della sequenza di dati di paging originale garantisce la cattura di una potenza proveniente dall'amplificatore di potenza di bordo del sistema di comunicazioni radio sufficiente per chiudere il bilancio di collegamento senza superare, al contempo, un limite di densità spettrale di potenza. In queste considerazioni, il presupposto di un bilancio di collegamento ascendente non critico è tipico, dato che il bilancio di collegamento dal gateway al sistema di comunicazione radio 22 non è cruciale, mentre il bilancio di collegamento dal sistema di comunicazioni radio 22 al transponder localizzatore 24 è prezioso.

Il transponder localizzatore 24, per ridurre al minimo il consumo di energia, può implementare convenientemente alcune sezioni con circuiteria analogica di complessità minima. Inoltre, per annullare il rumore di fase di

oscillatori economici, è possibile adottare convenientemente una scelta di modulazione differenziale per sezioni analogiche di rilevamento di paging e sincronizzazione in frequenza grossolana, la quale scelta consente l'uso di canali in cui il tempo di coerenza è breve. Convenientemente, il segnale di paging a spettro espanso può essere veicolato da una modulazione differenziale basata su spettro espanso resiliente al rumore di fase. Ad esempio, se si usa una modulazione a spostamento di fase binaria (BPSK, Binary Phase Shift Keying) differenziale, l'errore di rotazione di fase di oscillatore locale, da simbolo a simbolo, può garantire convenientemente di evitare di aggiungere una rotazione di 180 gradi che comporterebbe un errore di simbolo. Questo requisito, associato a una decisione di un simbolo binario, è tipicamente molto meno impegnativo per la stima di una fase.

Il tempo di acquisizione di codice convenientemente può essere ridotto al minimo tramite l'uso di un orologio in modo tale che l'errore nella configurazione iniziale della fase di codice che è interessato soltanto dall'imprecisione dell'orologio locale. In generale, la lunghezza di codice non è correlata necessariamente al guadagno di elaborazione: un codice corto può essere ripetuto convenientemente per incrementare il guadagno di elaborazione, ma una fase di sincronizzazione più breve viene pagata con un guadagno di

bilancio di collegamento di procedura di sincronizzazione più scarso. Tutti questi aspetti possono essere convenientemente tenuti in considerazione e bilanciati in una fase di progettazione preliminare.

La circuiteria di rilevamento di segnale di paging a spettro espanso del transponder localizzatore 24 può essere mantenuta convenientemente per un tempo definito sulla base di: tempo di acquisizione di codice, durata della sequenza di paging, numero massimo di transponder localizzatori che devono essere sottoposti a paging simultaneamente, e la lunghezza dei codici d'identificazione permanenti (che dipende dal numero di transponder localizzatori 24 appartenenti al sistema localizzatore 20). Ragionevolmente, la percentuale di tempo in cui la circuiteria di rilevamento di segnale di paging a spettro espanso è accesa è bassa (ad esempio, dell'ordine di 1-5%), riducendo inoltre, in questo modo, il consumo di energia.

## **2. Fasi di abilitazione di recupero di portante e sincronizzazione in frequenza**

Come spiegato precedentemente, nella fase di sincronizzazione in frequenza 43, viene eseguita convenientemente una sincronizzazione in frequenza fine eseguito dal transponder localizzatore 24 in base alla sincronizzazione in frequenza grossolana eseguita nella fase di attivazione 41 e al segnale (ai segnali) di agevolazione

di sincronizzazione in frequenza ricevuto (ricevuti) dal sistema di comunicazioni radio 22 (fase di abilitazione di recupero di portante 33). A questo proposito, vale la pena notare che la precisione di stima di portante necessaria per una semplice decisione relativa a bit di modulazione digitale binaria (come quella eseguita dal transponder localizzatore 24 nella fase di attivazione 41) può essere convenientemente molto minore rispetto a quella necessaria per la trasmissione dei segnali di eco radar marchiati dal transponder localizzatore 24 al sistema basato su radar 23. Questa maggiore precisione convenientemente viene conseguita piuttosto rapidamente dopo l'attivazione (ad esempio, in un tempo che può variare da alcune decine di secondi fino a un minuto).

Per facilitare la sincronizzazione in frequenza fine eseguito dal transponder localizzatore 24 nella fase di sincronizzazione in frequenza 43, una modulazione di tono residuo diretta o un tono non modulato espanso a spettro espanso possono essere usati convenientemente dal sistema di comunicazioni radio 22 nella fase di abilitazione di recupero di portante 33 (detta modulazione di tono residuo diretta o detto tono non modulato espanso a spettro espanso possono essere uguali a quelli usati nelle fasi di paging e attivazione 31 e 41, o diversi)).

### **3. Fasi di sincronizzazione temporale e generazione e**

### trasmissione di segnali di eco radar marchiati

In un intervallo di tempo che può variare dal momento dell'attivazione ad alcune ore dopo (ad esempio, circa quattro ore, considerando un tempo di rivisitazione SAR di satellite massimo di approssimativamente quattro ore), il sistema basato su radar 23 è in contatto con il transponder localizzatore 24. In particolare, durante il periodo in cui l'antenna direttiva del sistema basato su radar 23 trasmette e riceve alla/dalla posizione geografica del dispositivo localizzatore 24 (che, nel caso di un sistema SAR satellitare, tipicamente dura approssimativamente uno o due secondi), il transponder localizzatore 24 deve eseguire sia la fase di sincronizzazione temporale 44 sia la fase di generazione e trasmissione di segnali di ECO radar marchiati 45.

Convenientemente, nella fase di sincronizzazione temporale 44, entrambe le sezioni di ricezione del transponder localizzatore 24 per la ricezione di segnale (di segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza e per la ricezione di segnali radar sono accese, rispettivamente stimando la temporizzazione di chirp in base ai segnali radar ricevuti dal sistema basato su radar 23 e mantenendo il tracciamento della frequenza portante in base al segnale (ai segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza ricevuto (ricevuti) dal sistema di

comunicazioni radio 22. Questo è possibile simultaneamente dato che le bande radar e di telecomunicazioni normalmente sono sufficientemente distanti da evitare un'interferenza in corrispondenza delle sezioni di ricezione.

D'altra parte, quando i segnali di eco radar marchiati generati localmente iniziano ad essere trasmessi dal transponder localizzatore 24, convenientemente un anello digitale (o uno stimatore con circuito di correzione feedforward) incaricato del mantenimento della sincronizzazione in frequenza di portante può essere spento permanentemente o periodicamente durante la trasmissione. Convenientemente, un commutatore RF può essere impiegato per derivare a terra la parte di potenza di trasmissione che può essere accoppiata pericolosamente nella sezione (nelle sezioni) di ricezione. Questa fase della stima può essere convenientemente evitata se il tempo di coerenza della passeggiata aleatoria in frequenza di oscillatore locale è sufficientemente lunga, bloccando lo stimatore di frequenza o l'anello digitale al valore o allo stato immediatamente precedente alla trasmissione di segnali di eco radar marchiati.

Una procedura simile può essere seguita convenientemente per SAR, radar e ISAR, consentendo la migliore precisione per tutte le misurazioni (localizzazione, misurazioni di velocità, misurazioni

interferometriche, ecc.).

#### **4. Forma di realizzazione non limitativa preferita per la sincronizzazione temporale**

La figura 11 illustra schematicamente (in particolare, per mezzo di una rappresentazione schematica a digrafo) un esempio di FSM (indicato complessivamente con 61) progettato per eseguire la fase di sincronizzazione temporale 44 secondo una forma di realizzazione non limitativa preferita della presente invenzione.

In dettaglio, nella figura 11, tre stati, "TOA-SMA", "TOA-TM" e "LC-TXM", della FSM 61, sono rappresentati ciascuno da un rispettivo cerchio, mentre vengono usate frecce per rappresentare transizioni di stato e parametri di ingresso e uscita verso/da ogni stato.

Lo stato TOA-SMA (in cui TOA-SMA sta per Time of Arrival - Search Mode Acquisition, acquisizione di modalità di ricerca - tempo di arrivo) è lo stato iniziale, in cui il transponder localizzatore 24 (convenientemente, la sua sezione di sincronizzazione temporale di ricevitore) cerca continuamente (in una finestra di acquisizione aperta - OAW, Open Acquisition Window) l'istante in cui l'uscita del filtro adattato al segnale radar supera una soglia di tensione specifica, che è una funzione dell'energia di segnale radar ricevuta. Nella figura 11, questa soglia di tensione specifica è denominata TOA-SMA-THR (che sta per Time of

Arrival - Search Mode Acquisition - THreshold, soglia - acquisizione di modalità di ricerca - tempo di arrivo).

Quando viene superata la soglia di tensione di cui sopra, la FSM 61 passa dallo stato TOA-SMA allo stato TOA-TM (in cui TOA-TM sta per Time of Arrival - Tracking Mode, modalità di tracciamento - tempo di arrivo), in cui il transponder localizzatore 24 (convenientemente, la sua sezione di sincronizzazione temporale di ricevitore) cerca, soltanto all'interno di un intervallo temporale limitato TSW (che sta per Tracking Small Window, finestra ridotta di tracciamento), intorno a un TOA-TM-WCI (che sta per Time of Arrival - Window Central time Instant, istante di tempo centrale della finestra - tempo di arrivo), un superamento di un'altra soglia (nella figura 11 denominata TOA-TM-THR, che sta per Time of Arrival - Tracking Mode - THreshold, soglia - modalità di tracciamento - tempo di arrivo). Quando la FSM 61 è nello stato TOA-TM, la sezione di sincronizzazione di tempo di ricevitore del transponder localizzatore 24 stima anche un centro di finestra ottimale (OWC, Optimum Window Centre). Questo può variare per varie ragioni per casi di SAR, radar e ISAR. In particolare, per il caso di SAR satellitare, l'altezza variabile, mentre il satellite si sposta lungo l'orbita, impone un adattamento/una variazione di PRI locale.

La TOA-SMA-THR e la TOA-TM-THR possono essere definite

convenientemente in base a un compromesso tra una probabilità desiderata di un rilevamento mancato e un'acquisizione falsa e un'affidabilità della modalità di tracciamento desiderata (probabilità di selezione di picco di correlazione errata e probabilità di picco di correlazione mancata).

Una volta rilevato un numero di picchi di correlazione uguale a NRC (che sta per Number of Received Chirps, numero di chirp ricevuti) (tipicamente, un numero variabile da quattro a dieci), la FSM 61 passa dallo stato TOA-TM allo stato LC-TXM (in cui LC-TXM sta per Local Chirp - Transmission (TX) Mode, modalità di trasmissione - chirp locale), in cui il transponder localizzatore 24 trasmette i segnali di eco radar marchiati generati localmente. Qualora al transponder localizzatore 24 mancasse un chirp, non sorgerebbe alcun problema nella procedura di localizzazione dato che si osserverebbe una "migrazione di range" diversa su utenti ubicati in punti diversi. Pertanto, la procedura di localizzazione non richiede che il transponder localizzatore 24 risponda esattamente alla prima forma d'onda che illumina detto transponder localizzatore 24. Come mostrato nella figura 11, parametri dello stato LC-TXM (alcuni usati per l'ottimizzazione delle prestazioni) sono:

- numero di chirp trasmessi localmente (NLC, Number of Locally Transmitted Chirp);
- modalità di cambiamento (ramping) di frequenza in

aumento o in riduzione (U/D, Up/Down);

- centro di finestra ottimale - intervallo di ripetizione di impulso (PRI-OWC, Pulse Repetition Interval - Optimum Window Centre) stimato nello stato TOA-TM; e
- durata di chirp (CD, Chirp Duration).

Convenientemente, alcuni dei, o anche tutti i, parametri di cui sopra (o almeno i loro valori nominali) possono essere inclusi nei dati di segnalazione trasmessi dal sistema di comunicazione radio 22.

#### **5. Osservazioni relative alla sincronizzazione temporale per il caso di SAR satellitare**

Come spiegato precedentemente, la fase di sincronizzazione temporale 44 (in particolare, la stima di TOA di segnale radar) è eseguita dopo la fase di sincronizzazione in frequenza 43 (ossia, il recupero di portante) e dopo che il sistema di comunicazioni radio 22 ha fornito i dati di segnalazione che includono il PRI o la PRF nominale. A quel punto, il transponder localizzatore è in "modalità di attesa di chirp SAR", in attesa di ricevere chirp SAR per un tempo che è inferiore al, o uguale al, tempo di rivisitazione di SAR satellitare. La probabilità di una ricezione falsa di un chirp dipende da una soglia. L'energia di chirp è facilmente distinguibile dal rumore termico di fondo (con un rapporto definito da  $E_c/N_0$ ); la probabilità di superare una soglia, per via del rumore, essendo di un valore

molto superiore a 10 dB, è molto bassa, e la ricezione consecutiva di, ad esempio, tre chirp, due dei quali all'interno dell'esatta finestra temporale di PRI, è estremamente bassa. Pertanto, la soglia per il rilevamento di chirp può essere impostata abbastanza bassa da evitare o ridurre al minimo il rischio di mancare il primo chirp ricevuto. Un chirp in arrivo da un lobo laterale di antenna può essere rilevato come primo. In tal caso, la distanza in elevazione provocherà un'ambiguità. Pertanto, dopo un certo numero di chirp dopo il primo chirp corrispondente all'esatta apertura temporale del filtro adattato a chirp, il transponder localizzatore 24 attiva la generazione di replica di chirp.

Con riferimento a tale contesto, la figura 12 illustra schematicamente un esempio di problemi di ambiguità di range e azimut per il caso di SAR satellitare. Dal grafico a destra nella figura 12, è chiaro che selezionando, ad esempio una PRF di 2000 Hz, è possibile coprire:

- una strisciata di 110 km, in particolare con un range a terra da 330 km a 440 km (strisciata grigia nell'immagine schematica della Terra a sinistra nella figura 12);
- una strisciata di 90 km, in particolare con un range a terra da 480 km a 570 km (strisciata bianca nell'immagine schematica della Terra a sinistra nella figura 12);
- una strisciata di 70 km, in particolare con un range

a terra da 610 km a 680 km (strisciata nera nell'immagine schematica della Terra a sinistra nella figura 12).

Per via dei fasci secondari in range ed elevazione dell'antenna del SAR satellitare, il transponder localizzatore 24 può rilevare chirp trasmessi verso una diversa area di strisciata (ad esempio, assumendo che esso sia ubicato nella strisciata grigia o nera, può rilevare un chirp trasmesso verso la strisciata bianca) e, pertanto, quando l'SAR satellitare sta eseguendo la formazione in immagini della strisciata centrale bianca, con una dimensione di strisciata di 90 km, il transponder localizzatore 24 potrebbe rispondere (se le soglie non sono impostate precisamente) dalla strisciata grigia o nera, con un comportamento che può essere interpretato dal centro di elaborazione di immagini SAR esattamente come un'ambiguità. La probabilità che si verifichi un tale fenomeno può essere ridotta al minimo per date caratteristiche di lobi laterali di antenna SAR, ottimizzando le soglie di rilevamento. Quindi, questo problema può essere rimosso dopo che tutte e tre le strisciate sono state analizzate, o dopo che la potenza ricevuta del transponder localizzatore 24 è stata confrontata, in corrispondenza del processore di formazione di immagini SAR, con una potenza prevista. Invece, l'ambiguità di azimuth non è un problema, in quanto la potenziale attivazione con un lobo laterale in azimuth non

determina ambiguità nella focalizzazione dell'azimut e, purché il numero di chirp trasmessi venga aumentato di un certo margine per coprire un tempo desiderato del passaggio del satellite, non è previsto alcun impatto sulle prestazioni di localizzazione.

## **6. Osservazioni relative all'invenzione**

Come spiegato precedentemente, per conseguire prestazioni di localizzazione estremamente elevate, secondo la presente invenzione alla sincronizzazione temporale e in frequenza eseguita dal transponder localizzatore 24 è suddivisa in due fasi, ovvero la fase di sincronizzazione in frequenza 43 assistita dal sistema di comunicazioni radio 22 e la fase di sincronizzazione temporale 44 basata sui segnali radar ricevuti dal sistema basato su radar 23 e dai dati di segnalazione ricevuti dal sistema di comunicazioni radio 22.

Questa strategia per la sincronizzazione, oltre a risolvere il problema di conseguire una sincronizzazione di portante precisa nel tempo di contatto del transponder localizzatore 24 con il sistema basato su radar 23, consente una fertilizzazione reciproca della qualità di localizzazione complessiva migliorando inoltre la sincronizzazione temporale ottenuta.

Inoltre, la presente invenzione consente di migliorare la precisione della misurazione di qualsiasi parametro, quale ad esempio la velocità o qualsiasi misurazione

interferometrica, e di qualsiasi prodotto sensibile in termini di frequenza e di tempo di tipo SAR/radar/ISAR. Sarebbe impossibile ottenere una tale sincronizzazione in frequenza di portante precisa senza l'uso del sistema di comunicazioni radio 22 in aggiunta al sistema basato su radar 23.

Soluzioni alternative, come quelle basate su oscillatori controllati a forno precisi, sono più voluminosi, più costosi e hanno un consumo di energia nettamente più elevato rispetto alla soluzione secondo la presente invenzione.

Per fornire un esempio dell'impatto di un errore di frequenza di 1 Hz durante il periodo di contatto del transponder localizzatore 24 con il sistema basato su radar 23, può essere utile considerare che, con parametri tipici di sistemi SAR satellitari esistenti, tutte le informazioni nella localizzazione di azimuth sono contenute, più o meno, in un intervallo di  $\pm 1000$  Hz (come illustrato schematicamente nella figura 13). Pertanto, se il riferimento di portante locale in corrispondenza del transponder localizzatore 24 non mantiene una stabilità e una precisione di  $\pm 1$  Hz, la precisione scende molto al di sotto di una precisione di 5 m. Come spiegato precedentemente, la presente invenzione consente di conseguire questa precisione e questa stabilità.

Ad esempio, assumiamo un'altezza di satellite di approssimativamente 620 km, una dimensione di antenna essendo pari a 5,6 x 1,4 m (azimut x elevazione). Si assume che la larghezza di fascio a metà potenza risultante sia di circa 0,28 x 1,13 gradi (azimut x elevazione). La formula approssimata che è possibile usare per stimare la larghezza di fascio a metà potenza, espressa in radianti, è

$$\alpha|_{\text{radianti}} = \frac{0.8\lambda}{L}$$

o, quando espressa in gradi,

$$\alpha|_{\text{gradi}} = \frac{45.5\lambda}{L}$$

L'area di accesso considerata è di 25-50 gradi (il massimo, con assistenza meccanica nel puntamento, è 20-59 gradi). La velocità del satellite è:

$$v = \sqrt{\frac{Gm_E}{r}} = \sqrt{\frac{(6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2)(5.98 \times 10^{24})}{(6.38 \times 10^6) + (6.20 \times 10^5)}} = 7548 \text{ m/s}$$

Dalle considerazioni di cui sopra, la componente della velocità del satellite nella direzione radiale è 36,86 m/s, portando a uno spostamento Doppler massimo di circa 1228 Hz. Pertanto, deve essere richiesta una grande precisione della frequenza centrale di chirp, sia nella stima sia nella generazione. In particolare, come spiegato precedentemente, è richiesta una precisione di stima di frequenza di 1 Hz, la quale precisione può essere conseguita grazie alla presente invenzione.

## **7. Problemi di sincronizzazione in frequenza**

Secondo la teoria tradizionale, la qualità di un oscillatore è definita da un modello matematico ed ai suoi parametri rilevanti. Senza focalizzarsi su l'instabilità di ampiezza di segnale d'uscita ed evidenziando l'instabilità di frequenza meno dinamica, il segnale  $s(t)$  generato da un oscillatore è dato dall'espressione:

$$s(t) = A \text{sen} [2\pi(f_c + \bar{f}_e) + \bar{\phi}(t)]$$

Normalmente, si desidera che il segnale generato  $s(t)$  aderisca più strettamente possibile a un segnale sinusoidale con frequenza  $f_c$  predeterminata e nota precisamente. Nella formula di cui sopra,  $\bar{f}_e$  indica una variabile casuale gaussiana con media zero e deviazione standard  $\sigma_f$ , associata a differenze nella produzione, variazione di temperatura, instabilità del processo tecnologico, che si assume non varino in un intervallo di tempo di 20 secondi. Nella formula di cui sopra,  $\bar{\phi}(t)$  è un processo stocastico ergodico, la cui densità spettrale di potenza (PSD, Power Spectral Density) è definita dalle caratteristiche di rumore di fase dell'oscillatore stesso.

Il processo casuale  $\bar{\phi}(t)$  è normalmente caratterizzato con una PSD a legge di potenza a tratti che, quando anti-trasformata nel dominio del tempo usando il teorema di Wiener-Khinchin, porta a un'autocorrelazione di un processo stocastico fortemente correlato che, come noto, presenta inoltre una passeggiata aleatoria sia in fase sia in frequenza. Pertanto, l'oscillatore caratterizzato dalla

funzione di cui sopra ha una passeggiata aleatoria di frequenza istantanea che, a seconda della PDS del rumore di fase, può essere misurata e sottoposta correzione feed-forward quando il tempo di correlazione della variazione di frequenza e della passeggiata aleatoria (ossia, il tempo in cui la frequenza istantanea dominante può essere considerata quasi stazionaria), è maggiore del tempo di integrazione di stimatore di frequenza.

In un anello ad aggancio di fase, in cui un oscillatore di bassa qualità (ad esempio, un oscillatore ad aggancio di fase senza alcun controllo di temperatura, che genera alla frequenza delle microonde) è costretto a seguire un oscillatore locale di qualità migliore (come ad esempio un oscillatore a cristallo) che oscilla normalmente fino a decine o centinaia di MHz, la larghezza di banda di anello di tracciamento può essere sostanzialmente aumentata come desiderato, dato che la stima dell'errore di fase non è interessato dal rumore termico del collegamento di comunicazioni, come sarebbe se il riferimento provenisse da una posizione remota. L'aumento della larghezza di banda di anello è usato per far sì che l'oscillatore a microonde vincolato segua quanto più possibile in frequenza il rumore di fase dell'oscillatore a cristallo.

La figura 14 mostra un calcolo tipico di jitter residuo di un riferimento di orologio, fornito dall'integrale di

parte della PSD di rumore di fase (ossia, la zona in cui l'oscillatore locale non segue il riferimento desiderato). Il calcolo viene applicato sia per l'aggancio ad anello chiuso di due oscillatori, sia per la correzione feed-forward ad anello aperto. In particolare, la figura 14 mostra che l'aumento della larghezza di banda di anello (o la riduzione del tempo di integrazione di stimatore di fase di un anello feed-forward) migliora il disciplinamento (o la correzione feed-forward) dell'oscillatore locale. Questo è sempre vero quando il tracciamento o la correzione sono locali, e quindi eseguiti a un rapporto segnale-rumore elevato; ma quando il disciplinamento viene effettuato su un orologio remoto, la larghezza di banda di anello aumentata ha l'effetto di lasciar entrare nell'anello un maggiore rumore termico proveniente dal collegamento di telecomunicazioni. D'altra parte, nella correzione feed-forward, un tempo di integrazione ridotto riduce l'energia catturata dallo stimatore. L'energia divisa per la densità spettrale di rumore è la misura principale di qualsiasi modulazione o stima digitale, ed aumenta in funzione del tempo di simbolo o di integrazione. Questo è evidente quando si riduce il tasso di simbolo di un collegamento per una pari potenza trasmessa e una cifra di rumore di ricevitore non modificata.

Di fatto, quando il riferimento proviene da una posizione remota, come per il caso di tono di riferimento

nello spazio profondo e nella presente invenzione, il compromesso tra agganci alla portante remota fino a frequenze di rumore di fase elevate, per ridurre il jitter reciproco tra l'oscillatore locale e remoto, è in diretto conflitto con la necessità di ridurre la larghezza di banda di anello di tracciamento (o stimatore).

La riduzione della larghezza di banda di anello di tracciamento viene eseguita tipicamente nell'aggancio nel tracciamento di portante nello spazio profondo per consentire un aggancio anche a rapporti segnale-rumore fino a un minimo di -150 dB (a questo riguardo, si può fare riferimento a L. Simone et al., "A novel digital platform for deep space transponders: the receiver side", 2004 IEEE Aerospace Conference Proceedings, 9-13 marzo 2004).

La conclusione è che l'oscillatore locale può essere un oscillatore molto semplice, senza alcuna necessità di essere controllato in termini di temperatura, dato che è possibile stimare facilmente  $\bar{f}_e$  usando un tempo di integrazione lungo, ma è vantaggioso che l'oscillatore locale presenti un rumore di fase con una frequenza centrale ben dominante e con un lungo tempo di correlazione della passeggiata aleatoria, in modo tale che sia possibile usare una lunga finestra di stima (come ad esempio un tempo di correlazione di 2 secondi, in cui la frequenza rimane stabile per la presente applicazione). Questo è in relazione diretta con lo spettro

di rumore di fase.

Il fatto di avere una buona purezza spettrale di oscillatore locale e un lungo tempo di correlazione della passeggiata aleatoria di frequenza di oscillatore (ad esempio, almeno alcuni secondi) consente anche una stima di frequenza alquanto precisa (anche in presenza di rumore termico) dell'ordine di quasi alcuni Hertz di precisione. Infatti, qualsiasi stima effettuata dal transponder localizzatore 24 è interessata, nel corso della sua durata, dalle variazioni di fase e frequenza sul breve termine dell'oscillatore locale.

Le figure 15 16 mostrano uno dei concetti di base per la stima spettrale, per cui l'uso di una finestra temporale (ossia, un'osservazione limitata nel tempo di un tono) determina, nel dominio della frequenza, uno smearing spettrale della linea spettrale di tono originale.

Pertanto, per la chiusura del bilancio di collegamento e per la precisione di stima (di frequenza) spettrale e per la successiva correzione per la trasmissione in collegamento ascendente di chirp, la durata della stima dura convenientemente almeno più di un secondo.

#### **8. Forme di realizzazione non limitative preferite per trasmissione e ricezione di segnale di paging a spettro espanso e per sincronizzazione in frequenza**

Come è noto, nelle comunicazioni nello spazio profondo

è prassi disaccoppiare il rumore di modulazione della sincronizzazione di portante, per avere un doppio schema di modulazione, usando una sottoportante (a questo riguardo, si può fare riferimento a J. K. Holmes, "Coherent Spread Spectrum Systems", Wiley, 1982). A questo riguardo, la figura 17 illustra schematicamente un tipico schema di modulazione-demodulazione del tipo di cui sopra, che include:

- sul lato trasmettitore 71, una modulazione di sottoportante (blocco 712) di dati binari (blocco 711) basata su una sottoportante di onda quadra (blocco 713), quindi una modulazione di fase (blocco 714) basata su una data portante (blocco 715) e, infine, un'amplificazione di potenza (blocco 716);

- sul lato ricevitore 72, demodulazione coerente (blocco 721), demodulazione di sottoportante (blocco 722), sincronizzazione dei bit (blocco 723) e, infine, demodulazione di dati (blocco 724).

In altre parole, sul lato trasmettitore 71, i dati binari (blocco 711) modulano una sottoportante (blocchi 712 e 713) e, una volta fatto ciò, il segnale modulato di sottoportante viene modulato in fase sulla portante reale (blocchi 714 e 715), ad esempio, una portante di banda X.

Questo schema di modulazione-demodulazione può essere usato convenientemente anche per la fase di paging 31 e, pertanto, per la trasmissione da parte del sistema di

comunicazioni radio 22 e la ricezione da parte del transponder localizzatore 24 del segnale di paging a spettro espanso.

La figura 18 mostra un esempio di segnale generato usando lo schema di modulazione-demodulazione della figura 17. Per alcuni valori dei parametri di processo di modulazione, viene lasciata una portante residua, consentendo un potente controllo della sincronizzazione e del tracciamento.

La figura 17 mostra che anche la demodulazione segue un doppio processo di demodulazione, prima viene demodulata la portante e successivamente la sottoportante. Questo consente un processo di modulazione molto semplice, in cui un anello ad aggancio di fase (PLL, Phase-Locked Loop), che può essere analogico o digitale (quest'ultimo avendo il vantaggio di un'implementazione a banda larga molto ridotta), è usato per tracciare la portante con una scelta ottimale di larghezza di banda ridotta, per acquisire segnali fino a un rapporto segnale-rumore molto basso. Al contempo, la modulazione è disposta lontano dagli effetti di rumore di fase peggiori.

Convenientemente, nella fase di paging 31, i dati binari (blocco 711 nella figura 17) che entrano nel modulatore di sottoportante (blocco 712 nella figura 17) sono diffusi preliminarmente in un blocco di diffusione a sequenza diretta, che usa un codice PN con il risultato di realizzare,

essenzialmente, un flusso di dati binari con una velocità dati aumentata. In questo caso, lo spettro mostrato nella figura 18 viene ampliato attorno alla frequenza sottoportante. Questo consente di ottenere vantaggi durante il passaggio in un transponder di telecomunicazioni satellitare.

La figura 19 illustra schematicamente un esempio non limitativo di architettura di sezione di ricezione per il paging a spettro espanso e la ricezione di segnali radar da parte del transponder localizzatore 24 secondo una forma di realizzazione non limitativa preferita della presente invenzione.

In particolare, come mostrato nella figura 19, il transponder localizzatore 24 include convenientemente:

- un'antenna a microstriscia 81 per ricevere il segnale di paging a spettro espanso, il segnale relativo a segnalazione (i segnali relativi a segnalazione) e il segnale (i segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza dal sistema di comunicazioni radio 22 e i segnali radar dal sistema basato su radar 23, e per trasmettere i segnali di eco radar marchiati;

- un commutatore RF 82 che può essere fatto funzionare per connettere alternatamente l'antenna a microstriscia 81 a una sezione di ricezione (mostrata nella figura 19) e una sezione di trasmissione (non mostrata nella figura 19) del

transponder localizzatore 24; e

- un amplificatore a basso rumore (LNA, Low Noise Amplifier) 83 che può essere connesso alternatamente, o simultaneamente, a un percorso di telecomunicazione 84 per il segnale di paging a spettro espanso ricevuto dal sistema di comunicazioni radio 22 e un percorso SAR 85 (assumendo convenientemente che il sistema basato su radar 23 sia un sistema SAR) per i segnali radar ricevuti dal sistema basato su radar (convenientemente, SAR) 23.

Detto percorso di telecomunicazione 84 include convenientemente a cascata:

- un primo amplificatore 841;
- un primo filtro passa-banda 842 per rimuovere tramite filtraggio rumore e segnali di banda di immagine;

- un primo miscelatore 843 connesso a un oscillatore locale (LO, Local Oscillator) 86 per una conversione in riduzione di frequenza (ad esempio, a una frequenza intermedia - IF, Intermediate Frequency) basato su una frequenza di riferimento fornita da detto LO 96, in modo da convertire in riduzione la frequenza a un valore gestibile per la successiva conversione da analogico a digitale (blocco 846 nella figura 19);

- un secondo filtro passa-banda 844;
- un secondo amplificatore 845; e
- un primo convertitore da analogico a digitale (ADC,

Analog-to-Digital Converter) 846.

Detto percorso SAR 85, invece, include convenientemente a cascata:

- un terzo amplificatore 851;
- un terzo filtro passa-banda 852 per rimuovere tramite filtraggio rumore e segnali di banda di immagine; e
- un convertitore riduttore 853, che è connesso all'LO 86 per ricevere la frequenza di riferimento fornita da detto LO 86 e che è progettato per emettere componenti in fase (I) e in quadratura (Q) in banda base (BB) dei segnali radar ricevuti.

Inoltre, il transponder localizzatore 24 include convenientemente anche una schiera a porte programmabili sul campo (FPGA, Field Programmable Gate Array) 87, o un circuito integrato per applicazioni specifiche (ASIC, Application Specific Integrated Circuit), che è connessa al primo ADC 846 ed è configurato convenientemente per:

- eseguire un recupero di portante relativo al segnale di paging a spettro espanso ricevuto e implementare un demodulatore di modulazione di fase (PM, Phase Modulation) (blocco 871 nella figura 19);
- eseguire una demodulazione BPSK e un annullamento di espansione (blocco 472 nella figura 19);
- eseguire una sincronizzazione di bit (blocco 873 nella figura 19);

- eseguire un'elaborazione di informazioni di paging (blocco 874 nella figura 19) in base a dati e riferimento di orologio forniti dalla sincronizzazione di bit (blocco 873 nella figura 19); e

- fornire al primo ADC 846 un riferimento temporale (o di orologio) (blocco 875 nella figura 19).

In altre parole, nell'uso, il segnale digitale emesso dal primo ADC 846 (che può essere convenientemente un segnale sottocampionato IF) è inviato al demodulatore PM (blocco 871 nella figura 19) per recuperare il segnale di modulazione. Quindi, viene eseguito un ulteriore processo di demodulazione e annullamento di espansione della sottoportante (blocco 872 nella figura 19).

Inoltre, la figura 20 illustra schematicamente un esempio non limitativo di architettura di sezione di ricezione per la ricezione di segnale di agevolazione di sincronizzazione in frequenza da parte del transponder localizzatore 24 secondo una forma di realizzazione non limitativa preferita della presente invenzione.

In particolare, come mostrato nella figura 20, il transponder localizzatore 24 include convenientemente a cascata a partire da detta antenna a microstriscia 81 e detto LNA 83 anche:

- un filtro di immagine 91 per rimuovere rumore da bande indesiderate;

- un secondo miscelatore 92 per eseguire una conversione in riduzione di frequenza (ad esempio a IF) basata sulla frequenza di riferimento (nella figura 20 indicata da  $F_c$ ) fornita dall'LO 86 e una deriva di frequenza stimata (nella figura 20 indicata da  $\Delta f$ ) che interessa detta frequenza di riferimento;

- un quarto filtro passa-banda 93 per un filtraggio anti-aliasing; e

- un secondo ADC 94 che riceve un riferimento di orologio dall'LO 86.

La sezione di ricezione di segnale di agevolazione di sincronizzazione in frequenza mostrata nella figura 20 e il percorso di telecomunicazione 84 della figura 19 potrebbero convenientemente condividere:

- uno stesso filtro passa-banda per rimuovere tramite filtraggio di rumore e segnali di banda di immagine (al posto, rispettivamente, del primo filtro passa-banda 842 e del filtro di immagine 91);

- uno stesso miscelatore per una conversione in riduzione di frequenza (al posto, rispettivamente, del primo miscelatore 843 e del secondo miscelatore 92);

- uno stesso filtro passa-banda al posto, rispettivamente, del secondo filtro passa-banda 844 e del quarto filtro passa-banda 93; e

- uno stesso ADC al posto, rispettivamente, del primo

ADC 846 e del secondo ADC 94.

In altre parole, il percorso di telecomunicazione 84 potrebbe essere convenientemente condiviso sia dalla sezione di ricezione di segnale di paging a spettro espanso sia dalla sezione di ricezione di segnale di agevolazione di sincronizzazione in frequenza.

Inoltre, come mostrato nella figura 20, il segnale digitale emesso dal secondo ADC 94 è elaborato per un'estrazione di inviluppo complesso (blocco 95 nella figura 20) e, successivamente, la deriva di frequenza  $\Delta f$  viene stimata secondo un algoritmo di stima predefinito, come ad esempio l'algoritmo di stima di frequenza descritto in D. Rife e R. Boorstyn, "*Single-tone parameter estimation from discrete-time observations*", IEEE Transactions on Information Theory, vol. 20, n. 5, pp. 591-598, 1974, che include: eseguire una trasformata di Fourier veloce (FFT, Fast Fourier Transform - blocco 96 nella figura 20), calcolare una media di campioni di FFT accumulati in code First In First Out (FIFO, primo a entrare, primo a uscire) (blocchi 97 nella figura 20) e, dopo l'accumulo, cercare il massimo (blocco 98 nella figura 20) che rappresenta una stima di deriva di frequenza sostanzialmente ottimale, con una probabilità di errore molto bassa (ossia, probabilità di valori errati (outlier)).

Nell'uso, la sezione di ricezione di segnale di

agevolazione di sincronizzazione in frequenza mostrata nella figura 20 viene attivata una volta che il transponder localizzatore 24 ha ricevuto il segnale di paging a spettro espanso (in particolare, una volta che la sezione di ricezione di segnale di paging a spettro espanso mostrata nella figura 19 ha rilevato un segnale di paging a spettro espanso che trasporta il codice di identificazione permanente assegnato a detto transponder localizzatore 24).

Una volta attivata, la sezione di ricezione di segnale di agevolazione di sincronizzazione in frequenza mostrata nella figura 20 esegue una stima precisa della deriva di frequenza  $\Delta f$  che interessa la frequenza di riferimento  $F_c$  fornita dall'LO 86. Quindi, come spiegato precedentemente, il transponder localizzatore 24 "corregge" la frequenza di riferimento  $F_c$  fornita dall'LO 86 sulla base della deriva di frequenza  $\Delta f$  stimata ottenendo in questo modo la frequenza portante di trasmissione, cosicché detto transponder localizzatore 24 usa detta frequenza portante di trasmissione per trasmettere i segnali di eco radar marchiati.

La logica per decidere quando (tra i tempi di ricezione del segnale di paging a spettro espanso e del primo segnale radar) attivare la sezione di ricezione di segnale di agevolazione di sincronizzazione in frequenza mostrata nella figura 20 può essere definita convenientemente tenendo conto

di un compromesso tra consumo di energia da parte del transponder localizzatore 24, tempo per conseguire la precisione di sincronizzazione in frequenza desiderata da parte della sezione di ricezione di segnale di agevolazione di sincronizzazione in frequenza, e tempo di reazione per il passaggio in modalità di trasmissione da parte di detto transponder localizzatore 24.

Inoltre, per quanto riguarda lo schema di modulazione portante residuo usato, vale la pena notare che è possibile, se/quando è richiesto/desiderato un guadagno aggiuntivo per il bilancio di collegamento discendente di comunicazioni radio (ossia, dal sistema di comunicazioni radio 22 e il transponder localizzatore 24), usare un sistema leggermente più complicato in cui anche la portante residua, usata come agevolazione di sincronizzazione, viene espansa per migliorare il bilancio di collegamento nel collegamento discendente e per ridurre linee discrete nello spettro. Questa soluzione può essere eseguita convenientemente aggiungendo semplicemente mezzi di espansione nella stazione di trasmissione del sistema di comunicazioni radio 22 anche per il tono residuo di modulazione (e non solo per la modulazione di dati di paging), e mezzi di annullamento di espansione e sincronizzazione di codice nella sezione di ricezione del transponder localizzatore 24, cosicché viene ottenuta una portante non espansa di riferimento.

Infine, la figura 21 illustra schematicamente un esempio non limitativo di architettura ad aggancio di fase economica a basso consumo di energia per l'LO 86 secondo una forma di realizzazione non limitativa preferita della presente invenzione.

In particolare, come mostrato nella figura 21, l'LO 86 include convenientemente:

- un oscillatore a cristallo di altissima frequenza (VHF, Very High Frequency) 861 progettato per fornire un primo segnale di riferimento avente una prima frequenza di riferimento nella banda VHF;

- un rivelatore di fase di campionamento 862 accoppiato all'oscillatore a cristallo VHF 861 per ricevere il primo segnale di riferimento e configurato per eseguire un rilevamento di fase di campionamento;

- un filtro attivo a basso rumore 863 connesso all'uscita del rivelatore di fase di campionamento 862, in cui detto filtro attivo a basso rumore 863 include convenientemente un amplificatore 864 e un resistore R e un condensatore C connessi tra l'ingresso e l'uscita di detto amplificatore 864; e

- un oscillatore a microonde 865 connesso all'uscita del filtro attivo a basso rumore 863 e progettato per fornire un secondo segnale di riferimento avente una seconda frequenza di riferimento compresi in una banda di frequenza

- delle microonde (ad esempio, nella banda X), in cui detto secondo segnale di riferimento è fornito
- in corrispondenza di un'uscita 866 dell'LO 86 in modo tale da poter essere usato dal transponder localizzatore 24 come segnale di frequenza di riferimento per il suo funzionamento in ricezione e in trasmissione (come descritto precedentemente in dettaglio), e
  - al rilevatore di fase di campionamento 862 come retroazione ad anello chiuso.

**9. Osservazioni relative al guadagno di un segnale a spettro espanso trasmesso attraverso un transponder satellitare trasparente**

Alla luce di quanto sopra e, in particolare, di quanto spiegato nel precedente paragrafo 8, la sincronizzazione in frequenza può essere eseguita con un rapporto segnale-rumore incredibilmente basso, mentre il segnale modulato di sottoportante viene espanso convenientemente in termini di spettro per sostenere un rapporto segnale-rumore molto basso del bilancio di collegamento discendente di comunicazioni radio (ossia, dal sistema di comunicazioni radio 22 e il transponder localizzatore 24). L'impatto dell'espansione spettrale, durante il passaggio attraverso un transponder satellitare trasparente, è spiegato qui di seguito. A questo riguardo, vale la pena notare che, normalmente, una semplice espansione spettrale tramite tecniche a spettro espanso non

fornisce un guadagno in relazione al rumore termico.

In particolare, per spiegare il motivo dell'espansione del segnale modulato sottoportante, viene discusso qui di seguito il guadagno per un segnale più semplice, senza perdita di generalità.

Consideriamo dati casuali e non correlati, come avviene con una sorgente codificata (con rimozione di ridondanza in modo tale che la correlazione dei dati e la non equiprobabilità siano state rimosse). Se viene modulato in fase su un segnale di banda base con uno spettro a coseno rialzato, la sua densità spettrale di potenza (PSD) sarà quella di un rumore gaussiano bianco additivo (AWGN, Additive White Gaussian Noise) passato attraverso un filtro a coseno rialzato. Usando il concetto di larghezza di banda equivalente, è possibile trovare  $B_{eq}$  tramite la seguente relazione:

$$\int_{fc-(1+\beta)R_s/2}^{fc+(1+\beta)R_s/2} PSD(f)df = PSD(fc)B_{eq}$$

e, per il segnale di cui sopra, usando la descrizione di dominio della frequenza del coseno rialzato, è possibile ottenere:

$$B_{eq} = R_s.$$

Pertanto, è facile dimostrare che il segnale  $E_s$  è uguale al valore della PSD nella zona piatta dello spettro:

$$\frac{C}{B_{eq}} = PSD_{s1} \left[ \frac{W}{Hz} \right] = \frac{C}{R_s} = CT_s[Ws] = E_{s1}[Ws] = E_{s1}[Joule]$$

e, in generale, su un diagramma di PSD in scala log, è facile misurare  $E_s/N_0$  come la distanza (differenza) tra il rumore di fondo (noise floor) e la zona piatta dello spettro di segnale (a questo riguardo, si può fare riferimento, ad esempio, alla figura 22). Questo viene applicato con un errore trascurabile quando  $E_s \gg N_0$ , altrimenti necessario considerare che all'interno della PSD del segnale sia presente anche il rumore.

Se viene assunto un segnale BPSK, ne consegue che:

$$\frac{E_s}{N_0} = \frac{E_b}{N_0}$$

Consideriamo adesso un segnale a spettro espanso a sequenza diretta (DSSS). Normalmente, il fatto di associare una potenza in modo tale che venga imposto un certo  $E_b/N_0$  equivale a trasmettere sul canale a un  $E_c/N_0 = E_b/MN_0$ , in cui  $M$  è il fattore di diffusione. Ossia,  $E_c = E_b/M$ , dato che assumendo di usare l'energia  $E_b$  per ogni bit e percorrere il canale a una maggiore velocità  $R_c = MR_b$ , viene dedicata meno energia alla trasmissione di un chip che a un bit.

Quindi, durante l'annullamento di espansione in corrispondenza del ricevitore, l'energia di un chip è ottenuta dal guadagno di elaborazione  $M$ , ottenendo in questo modo  $E_b = ME_c$ . Tuttavia, questo non avviene se il segnale viene passato attraverso un transponder satellitare, dove i segnali entrano nell'amplificatore di potenza con uno squilibrio minimo di densità spettrale di potenza. In questo

caso, l' $E_s/N_0$  di due segnali adiacenti mantiene lo stesso  $E_s/N_0$ . È più facile assumere (come nel presente caso) che il collegamento discendente domini il bilancio di collegamento complessivo e che l'impatto del rumore nel collegamento ascendente sia trascurabile. Ovviamente, in corrispondenza del trasmettitore di stazione a terra di un transponder satellitare trasparente, per il secondo segnale deve essere spesa un maggiore  $E_b$  rispetto a quella per il primo segnale, e pertanto più potenza. Questo tuttavia non è un problema, dato che la potenza in corrispondenza di una stazione di terra può essere incrementata facilmente, mentre la parte debole del collegamento generale, come menzionato, è soltanto il collegamento discendente.

Pertanto, un segnale con  $R_c = 2R_b$ , assumendo  $M = 2$ , ha l' $E_c/N_0$  uguale all' $E_b/N_0$  del segnale non espanso (a questo riguardo, si può fare riferimento nuovamente alla figura 22). Dato che  $R_c = 2R_b$ , una potenza di portante raddoppiata viene catturata dalla potenza generale di amplificatore di bordo, per mantenere il bilanciamento  $E_c/N_0 = E_b/N_0$  come mostrato nella figura 22.

Ora, in corrispondenza del ricevitore, il secondo segnale, una volta sottoposto ad annullamento di espansione, avrà  $E'_b/N_0 = 2E_c/N_0 = 2E_b/N_0$ , in cui  $E'_b$  è l'energia in corrispondenza del ricevitore.

## **10. Osservazioni conclusive**

Alla luce di quanto sopra, i vantaggi tecnici della presente invenzione sono immediatamente evidenti agli esperti nella tecnica.

In particolare, vale la pena notare che la presente invenzione fornisce una soluzione innovativa che consente a transponder localizzatori del sistema localizzatore secondo WO2018/162756A1 di eseguire in modo affidabile e preciso una sincronizzazione in frequenza.

Più specificamente, la presente invenzione consente di usare un oscillatore locale economico, a basso consumo di energia e scarsamente preciso (ad esempio un oscillatore a microonde ad aggancio di fase non termoregolato con una precisione e una stabilità nativamente scarse), evitando comunque di degradare la precisione della localizzazione, evitando di imporre l'uso di un oscillatore locale costoso e a consumo di energia molto elevato (quale ad esempio un oscillatore a cristallo controllato a forno) ed evitando di richiedere una ricerca di segnali di transponder localizzatori all'interno di un intervallo di frequenze ampio.

Infatti, come spiegato precedentemente, la presente invenzione fornisce una soluzione di sincronizzazione in frequenza che consente un costo e un consumo di energia nettamente ridotti dei transponder localizzatori, con la precisione di localizzazione migliore possibile. Questo

consente un funzionamento di durata veramente lunga (ossia una durata di molti anni) di batterie di dimensioni estremamente ridotte e transponder localizzatori.

Inoltre, è importante rimarcare che un vantaggio importante della presente invenzione è l'uso di transponder localizzatori rigenerativi dotati della capacità di ottenere una sincronizzazione in frequenza portante perfetta, superiore persino a quanto sarebbe possibile con un oscillatore controllato a forno, senza alcuna necessità di un controllo della temperatura. La precisione di frequenza guadagnata, oltre a consentire di massimizzare la precisione della localizzazione, riduce nettamente l'elaborazione necessaria in corrispondenza del centro/della stazione di elaborazione di localizzazione. Questo avviene in quanto la dimensione del dominio della frequenza da lavorare in corrispondenza del centro/della stazione di elaborazione di localizzazione è ridotta grazie alla minimizzazione dell'incertezza di frequenza nella ricerca di frequenza temporale bidimensionale che deve essere eseguita in corrispondenza del centro/stazione di elaborazione di localizzazione, riducendo in questo modo l'elaborazione.

In aggiunta, la presente invenzione fornisce anche una soluzione innovativa che consente a transponder localizzatori del sistema localizzatore secondo WO2018/162756A1 di eseguire in modo affidabile e preciso

anche una sincronizzazione temporale.

Infine, vale la pena notare che l'uso di una macchina stati finiti (FSM) per eseguire la sincronizzazione temporale (in particolare, la FSM 61 mostrata nella figura 11 descritta precedentemente in dettaglio) è particolarmente vantaggioso in scenari a PRI variabile, quale ad esempio uno scenario di SAR.

## RIVENDICAZIONI

1. Metodo di localizzazione per localizzare un bersaglio accoppiato a un transponder localizzatore (24) associato a un codice di identificazione permanente assegnato permanentemente a detto transponder localizzatore (24);

il metodo di localizzazione comprendendo:

a) alla ricezione di una richiesta di un utente di localizzare il bersaglio, trasmettere, tramite un sistema di comunicazioni radio (22), un segnale di paging a spettro espanso che trasporta il codice di identificazione permanente e un codice di identificazione temporaneo assegnato temporaneamente al transponder localizzatore (24), in cui detto codice di identificazione temporaneo è più corto di detto codice di identificazione permanente;

b) ricevere, tramite il transponder localizzatore (24), il segnale di paging a spettro espanso ed estrarre, tramite detto transponder localizzatore (24), il codice di identificazione temporaneo trasportato dal segnale di paging a spettro espanso ricevuto;

c) trasmettere, tramite un sistema basato su radar (23), segnali radar verso una o più aree della superficie terrestre o del cielo e ricevere, tramite detto sistema basato su radar (23), segnali di eco da detta una o più aree della superficie terrestre o del cielo;

d) alla ricezione da parte del transponder localizzatore (24) di uno o più segnali radar trasmessi dal sistema basato su radar (23), generare e trasmettere, tramite detto transponder localizzatore (24), una sequenza di segnali di eco radar marchiati in cui è incorporato un segnale di marchiatura a spettro espanso, in cui detto segnale di marchiatura a spettro espanso trasporta il codice di identificazione temporaneo estratto; e

e) eseguire, tramite il sistema basato su radar (23), operazioni di localizzazione che includono

- rilevare, nei segnali di eco ricevuti, la sequenza di segnali di eco radar marchiati trasmessa dal transponder localizzatore (24),
- estrarre il codice di identificazione temporaneo trasportato dal segnale di marchiatura a spettro espanso incorporato nella sequenza rilevata di segnali di eco radar marchiati, e
- determinare una posizione del transponder localizzatore sulla base della sequenza rilevata di segnali di eco radar marchiati;

caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre:

f) trasmettere, tramite il sistema di comunicazioni radio (22), uno o più segnali di agevolazione di sincronizzazione in frequenza; e

g) ricevere, tramite il transponder localizzatore (24),

il segnale (i segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza e stimare, tramite detto transponder localizzatore (24), in base al segnale (ai segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza ricevuto (ricevuti), una deriva di frequenza che interessa una frequenza di riferimento fornita da un oscillatore locale (86) di detto transponder localizzatore (24);

in cui il transponder localizzatore (24) trasmette la sequenza di segnali di eco radar marchiati usando una frequenza portante di trasmissione ottenuta sulla base della frequenza di riferimento fornita dall'oscillatore locale (86) e della deriva di frequenza stimata.

2. Metodo di localizzazione secondo la rivendicazione 1, comprendente inoltre:

h) trasmettere, tramite il sistema di comunicazioni radio (22), uno o più segnali di segnalazione che trasportano dati di segnalazione indicanti uno o più parametri operativi del sistema basato su radar (23);

i) ricevere, tramite il transponder localizzatore (24), il segnale di segnalazione (i segnali di segnalazione) ed estrarre, tramite detto transponder localizzatore (24), i dati di segnalazione trasportati dal segnale di segnalazione ricevuto (dai segnali di segnalazione ricevuti); e

j) stimare, tramite il transponder localizzatore (24), sulla base dei segnali radar ricevuti dal sistema basato su

radar (23) e ai dati di segnalazione estratti, parametri di temporizzazione dei segnali radar ricevuti;

in cui il transponder localizzatore (24) trasmette la sequenza di segnali di eco radar marchiati usando i parametri di temporizzazione stimati.

3. Metodo di localizzazione secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui stimare la deriva di frequenza include eseguire:

- una stima grossolana della deriva di frequenza sulla base del segnale di paging a spettro espanso ricevuto; e
- una stima fine della deriva di frequenza sulla base della stima grossolana della deriva di frequenza e del segnale (dei segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza ricevuto (ricevuti).

4. Metodo di localizzazione secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 3, in cui il sistema di comunicazioni radio (22) è un sistema di comunicazioni radio satellitare (221); il metodo di localizzazione comprendendo inoltre:

- trasmettere, da una stazione a terra (25) al sistema di comunicazioni radio satellitare (221), il segnale (i segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza che deve essere trasmesso (che devono essere trasmessi) da detto sistema di comunicazioni radio satellitare (221);
- ricevere, tramite la stazione a terra (25), il segnale (i segnali) di agevolazione di sincronizzazione trasmesso

(trasmessi) dal sistema di comunicazioni radio satellitare (221);

- rilevare, tramite la stazione a terra (25), errori e/o spostamenti che interessano il segnale (i segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza ricevuto (ricevuti);

- correggere, tramite la stazione a terra (25), il segnale (i segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza ricevuto (ricevuti) per compensare gli errori e/o gli spostamenti rilevati; e

- ritrasmettere, tramite la stazione a terra (25), il segnale (i segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza corretto (corretti) al sistema di comunicazioni radio satellitare (221) che ritrasmette detto segnale (detti segnali) di agevolazione di sincronizzazione in frequenza.

5. Metodo di localizzazione secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il sistema basato su radar (23) è un sistema radar ad apertura sintetica o un sistema radar ad apertura sintetica inversa o un sistema radar.

6. Metodo di localizzazione secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il sistema di comunicazioni radio (22) e il sistema basato su radar (23) sono installati entrambi a bordo di una stessa piattaforma o più stesse piattaforme.

7. Sistema localizzatore (20) configurato per eseguire

il metodo di localizzazione come rivendicato in una qualsiasi rivendicazione precedente, in cui detto sistema localizzatore (20) include:

- un sistema di comunicazioni radio (22) configurato per eseguire le fasi a) e f) di detto metodo di localizzazione;

- un sistema basato su radar (23) configurato per eseguire le fasi c) ed e) di detto metodo di localizzazione;

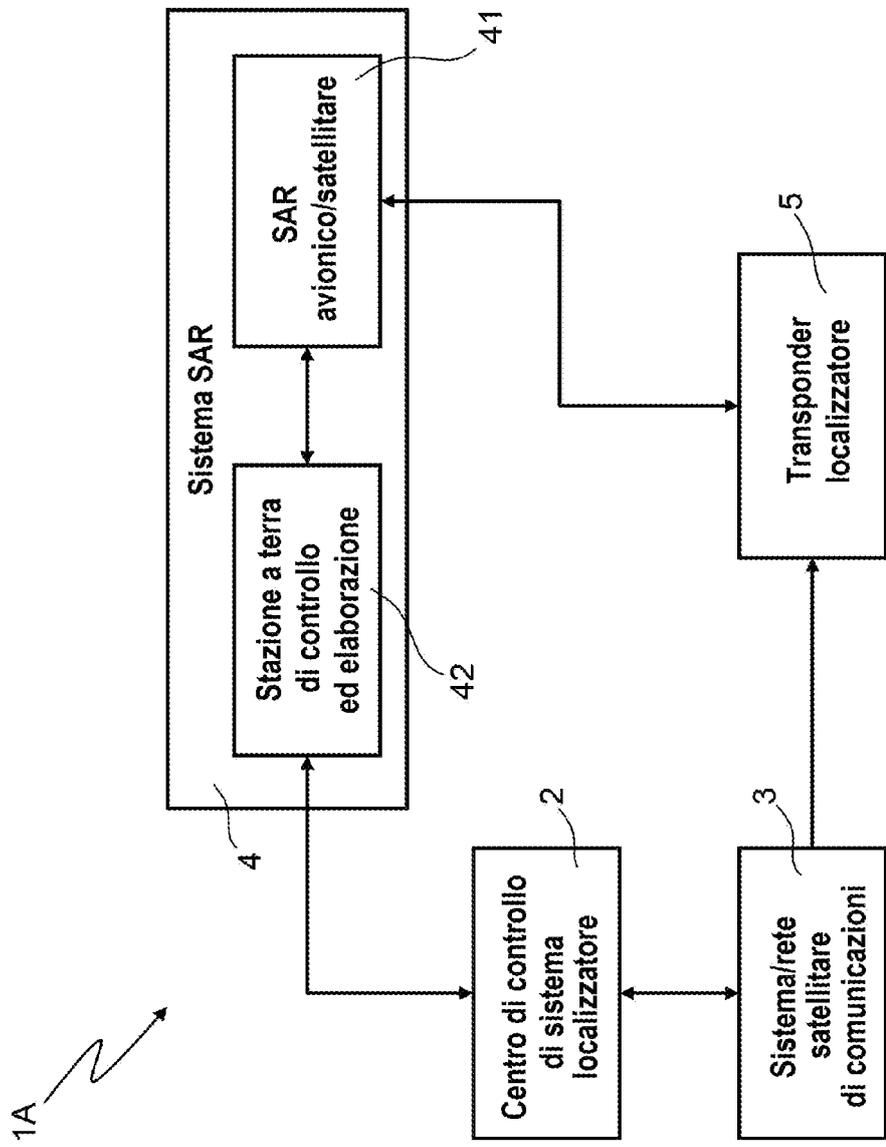
e

- un transponder localizzatore (24) configurato per eseguire le fasi b), d) e g) di detto metodo di localizzazione.

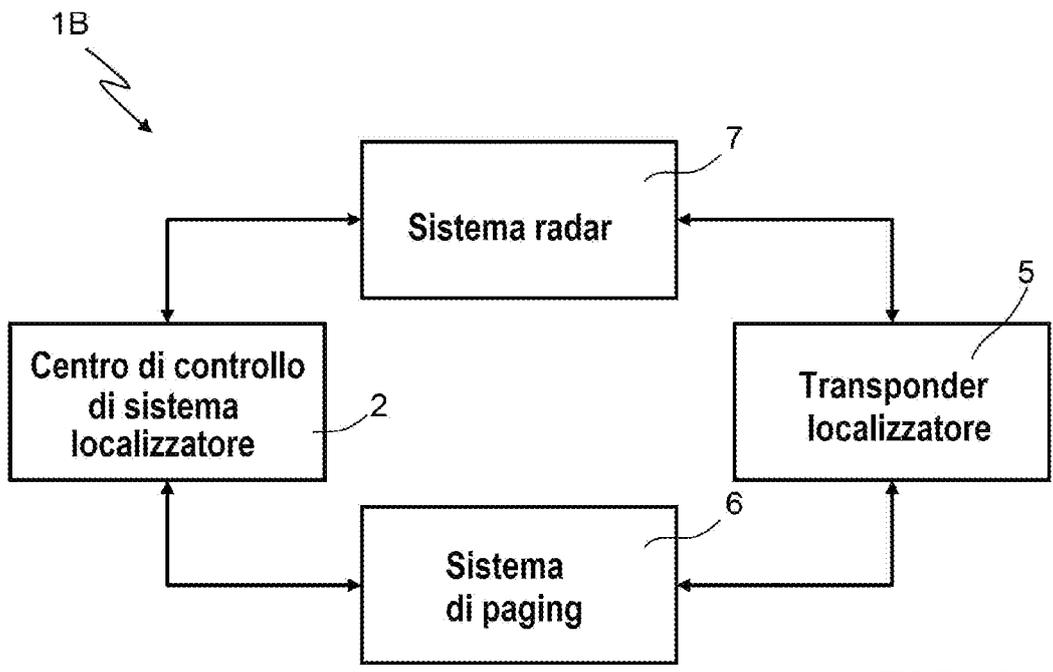
8. Sistema localizzatore secondo la rivendicazione 7, in cui il sistema basato su radar (23) è un sistema radar ad apertura sintetica o un sistema radar ad apertura sintetica inversa o un sistema radar.

9. Sistema localizzatore secondo la rivendicazione 7 o 8, in cui il sistema di comunicazioni radio (22) e il sistema basato su radar (23) sono installati entrambi a bordo di una stessa piattaforma o più stesse piattaforme.

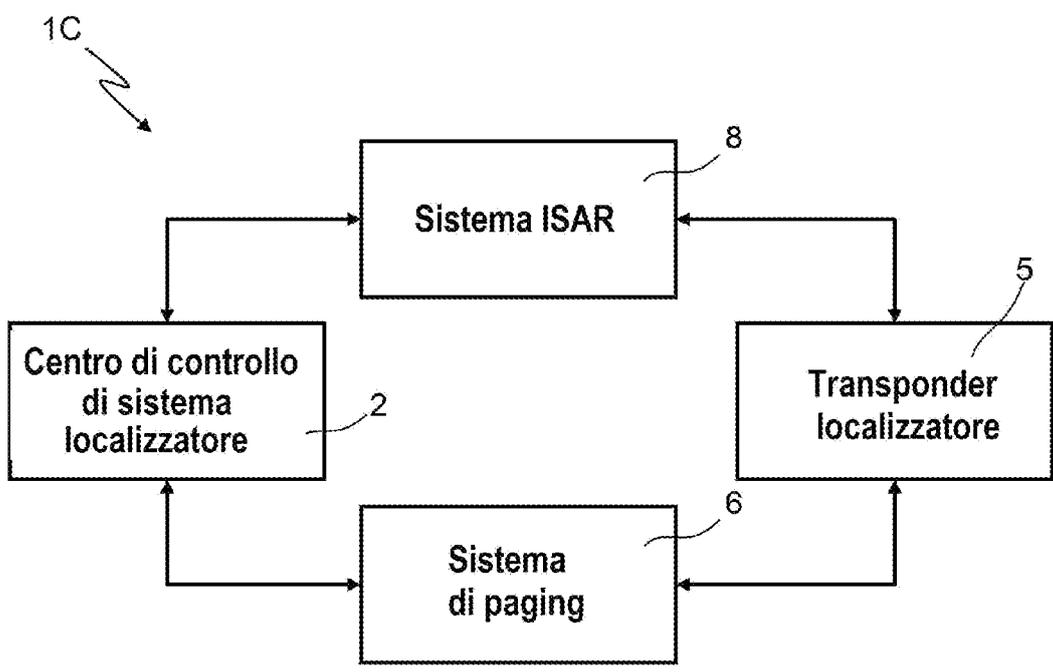
10. Transponder localizzatore (24) configurato per eseguire le fasi b), d) e g) del metodo di localizzazione come rivendicato in una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 6.



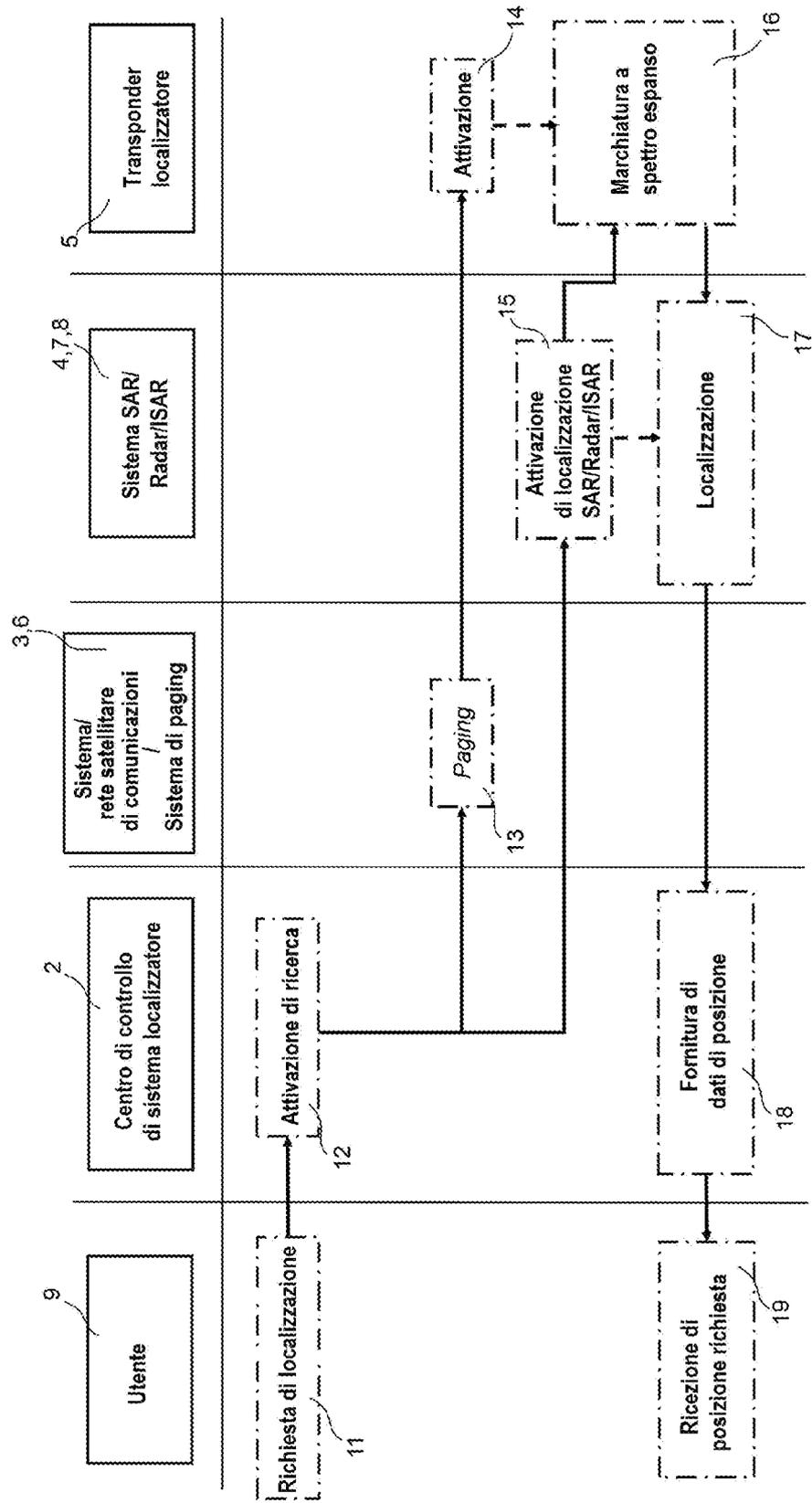
**FIG. 1**



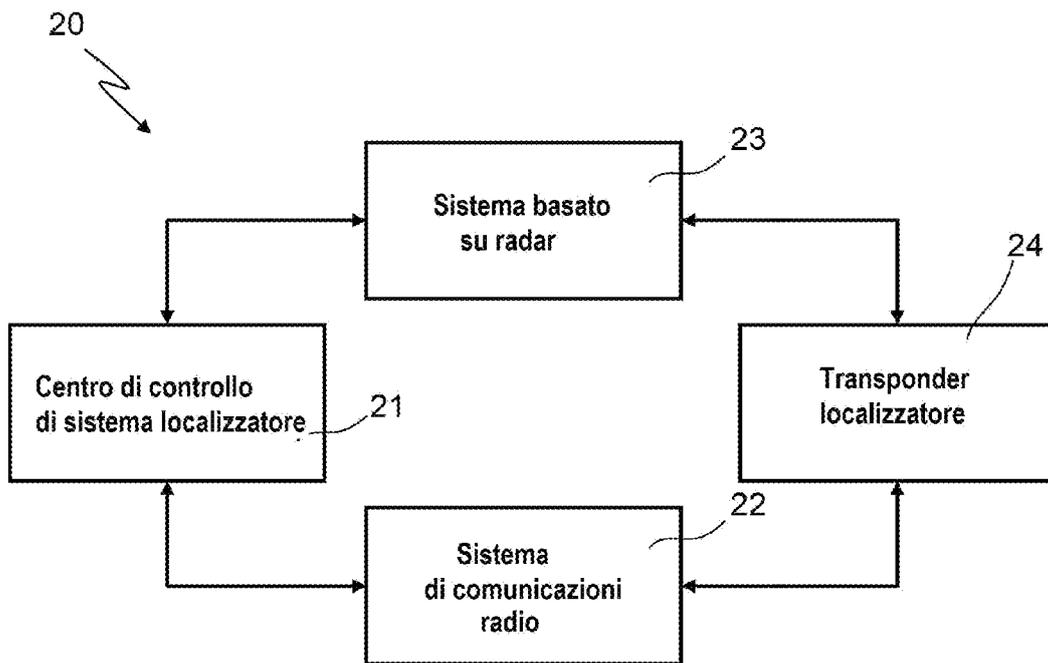
**FIG. 2**



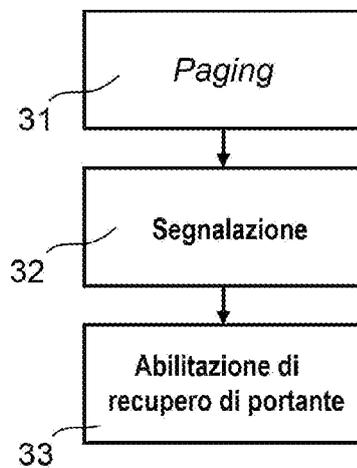
**FIG. 3**



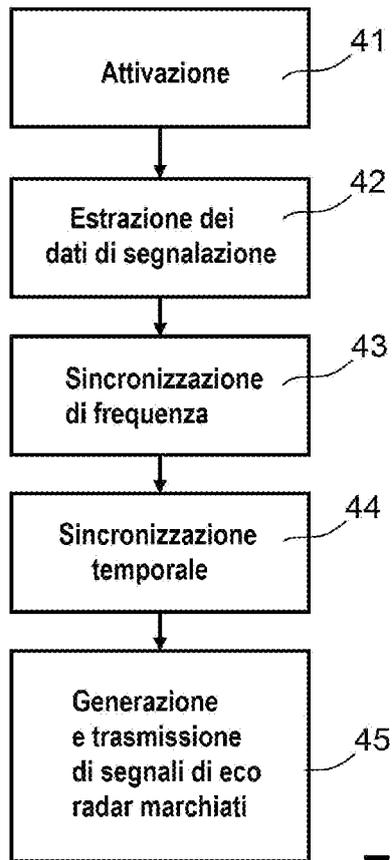
**FIG. 4**



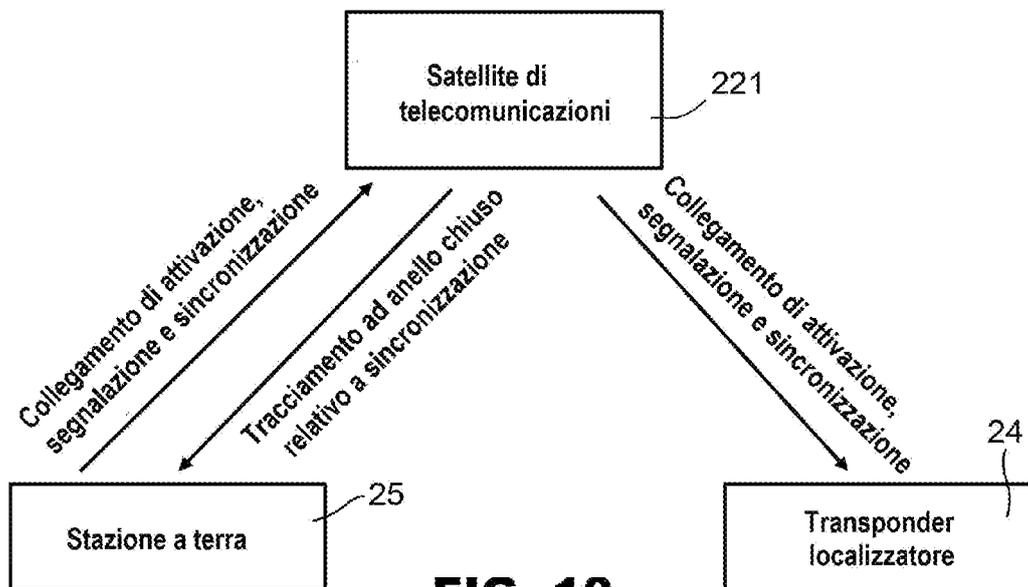
**FIG. 5**



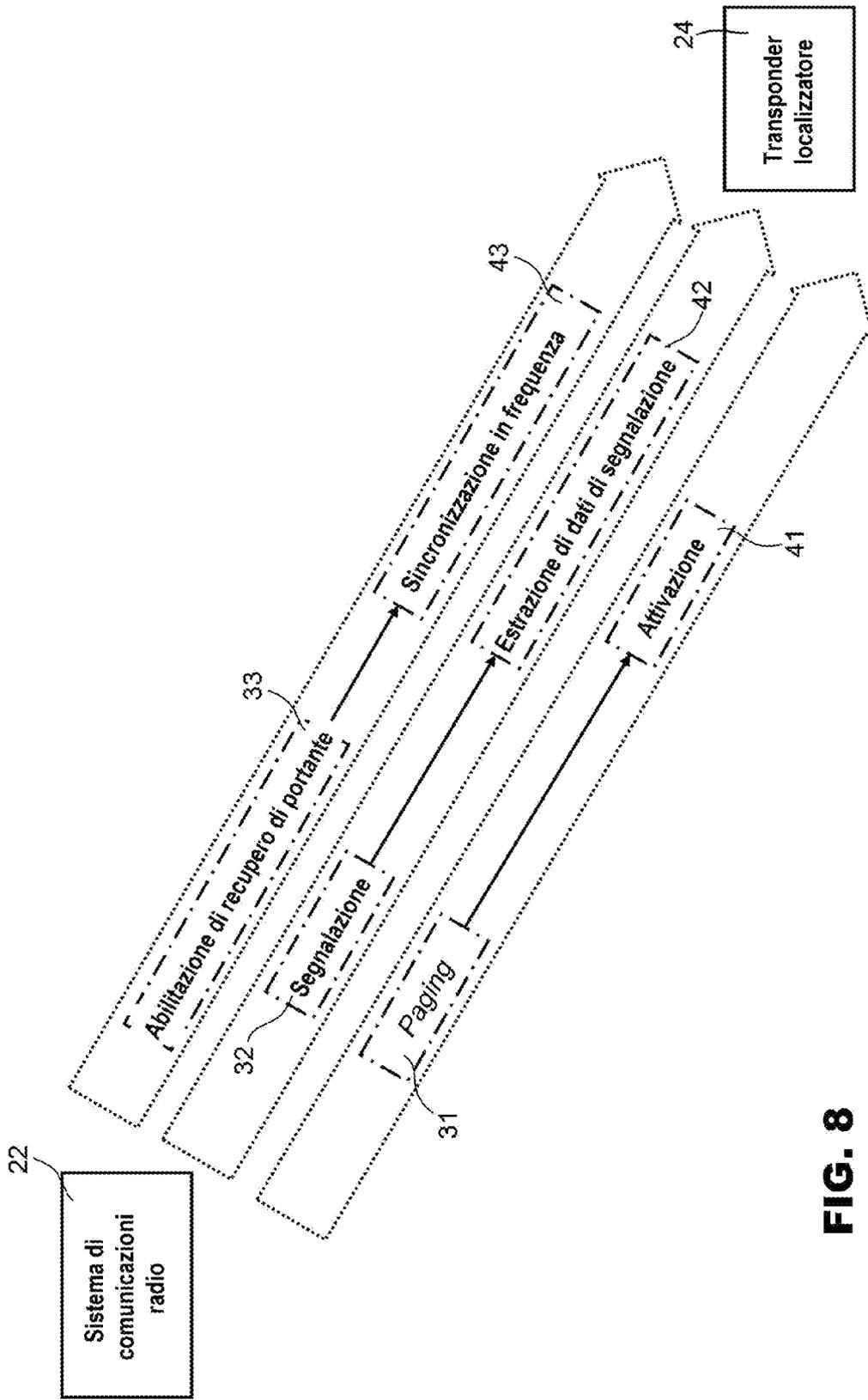
**FIG. 6**



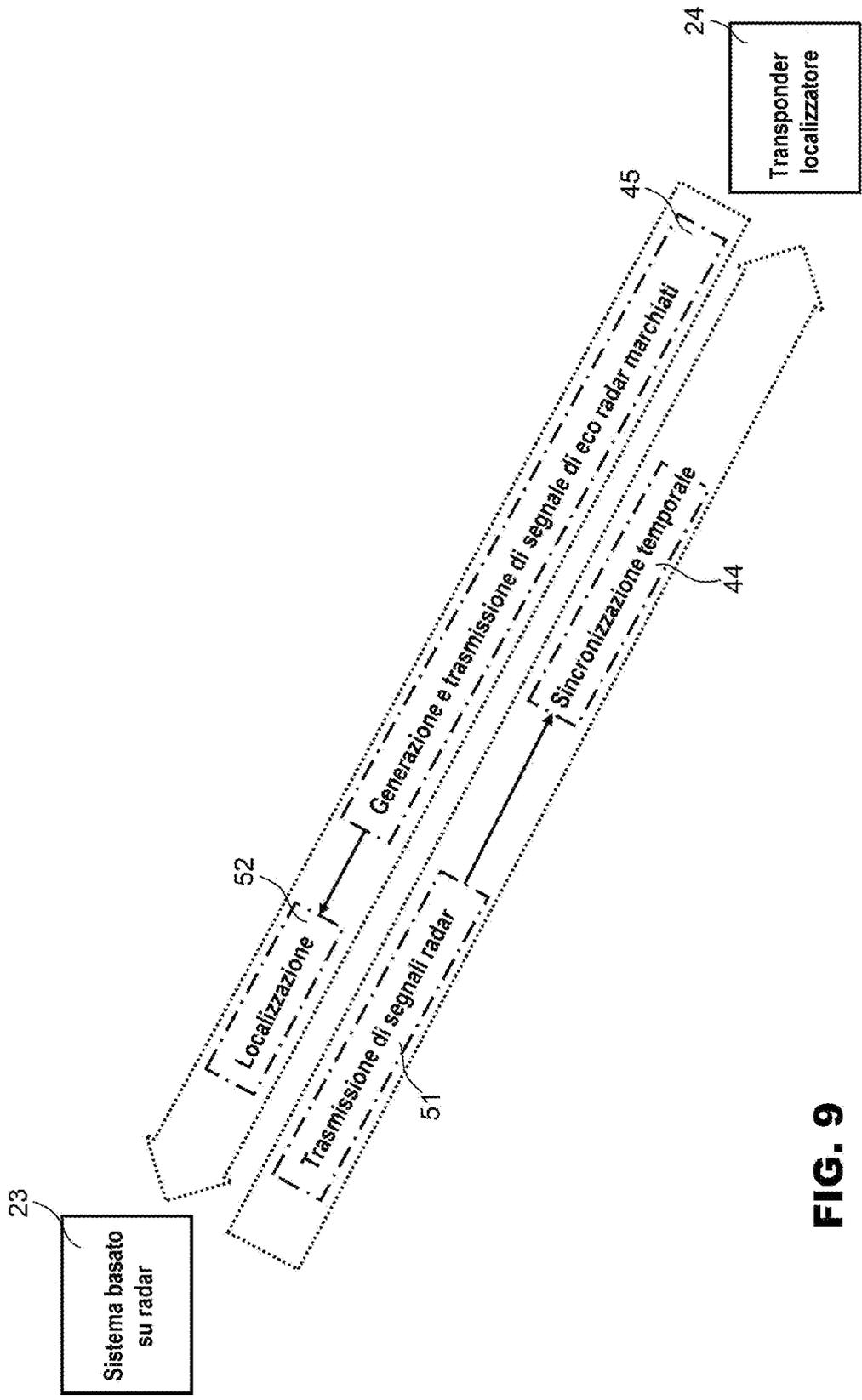
**FIG. 7**



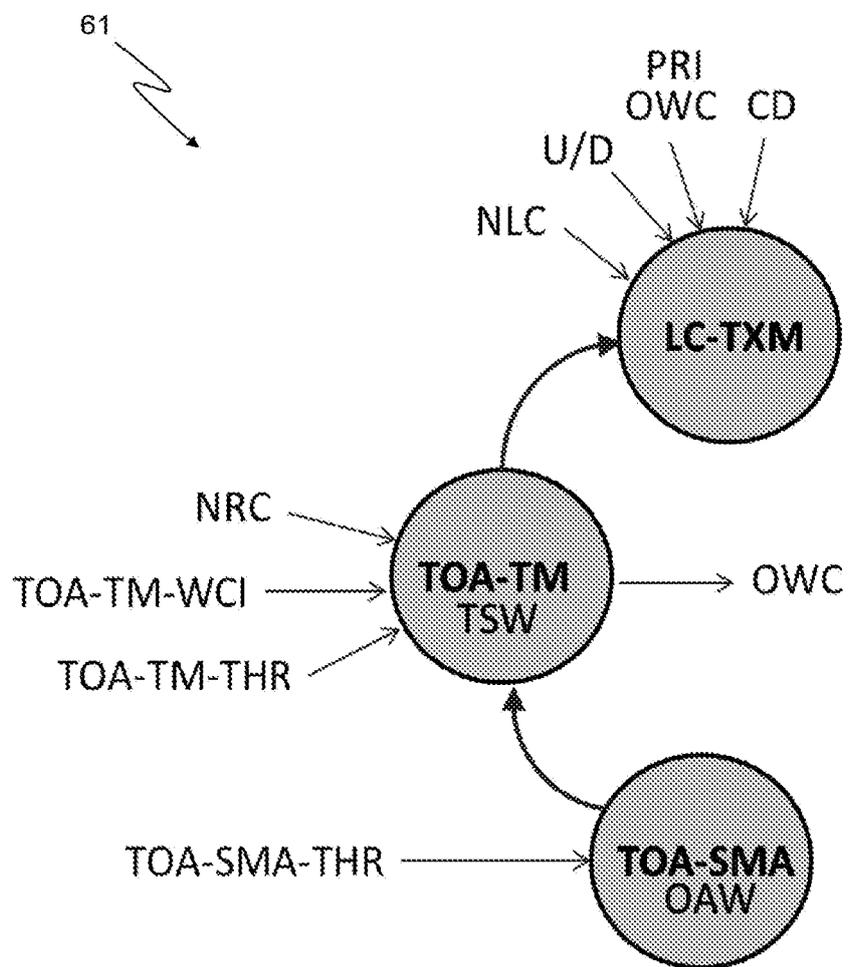
**FIG. 10**



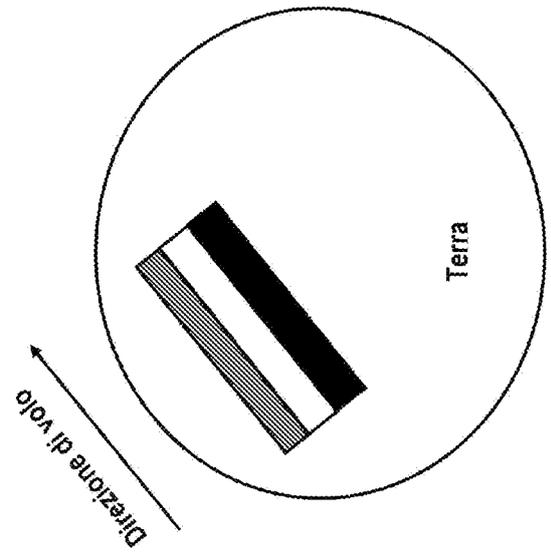
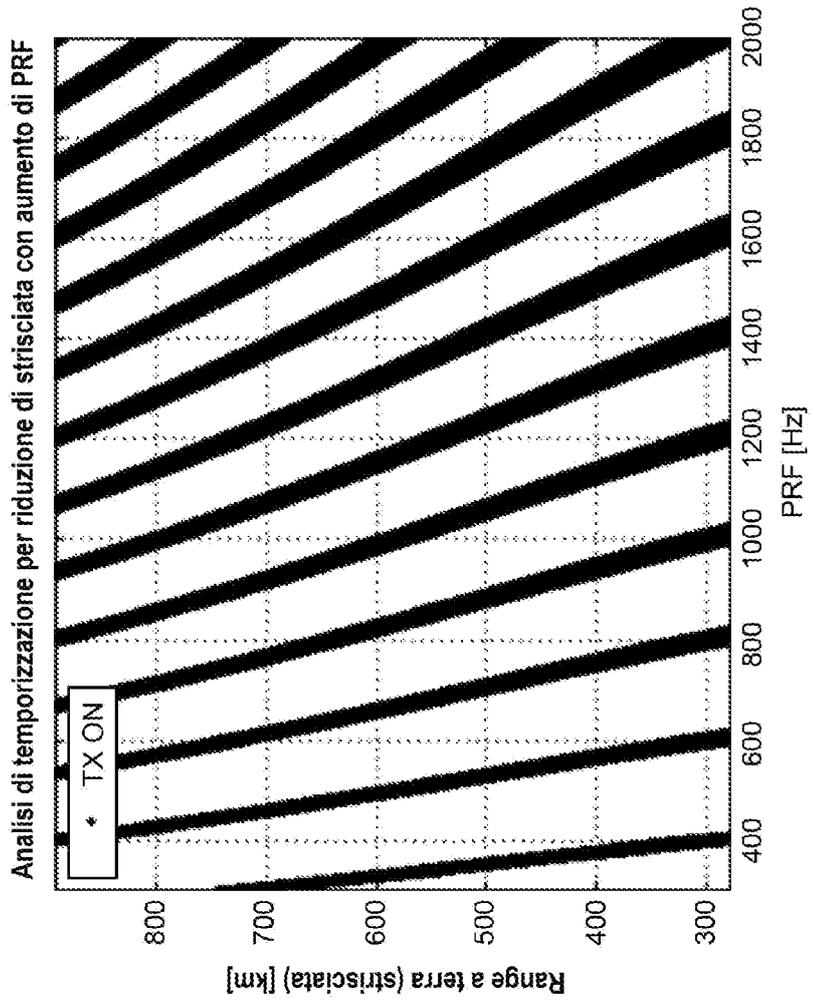
**FIG. 8**



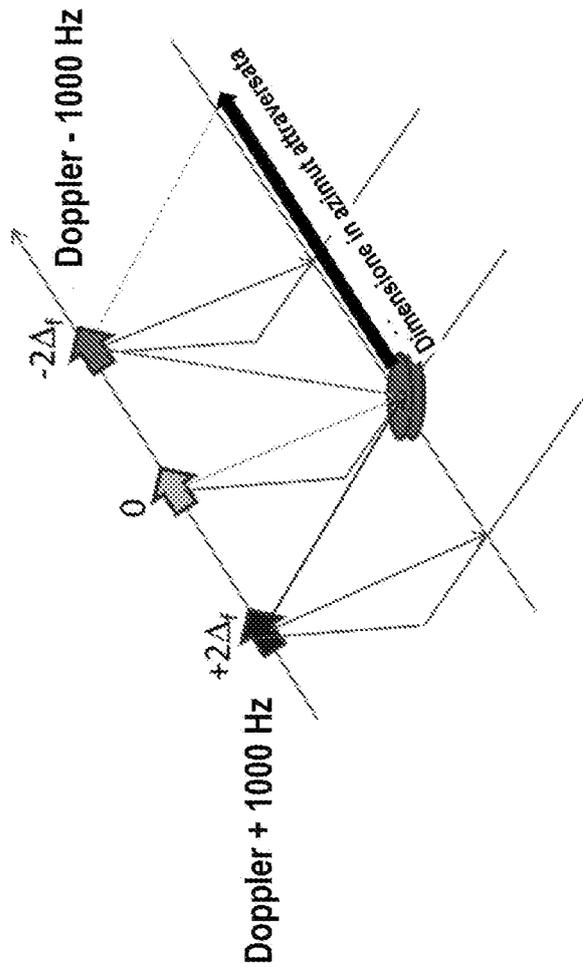
**FIG. 9**



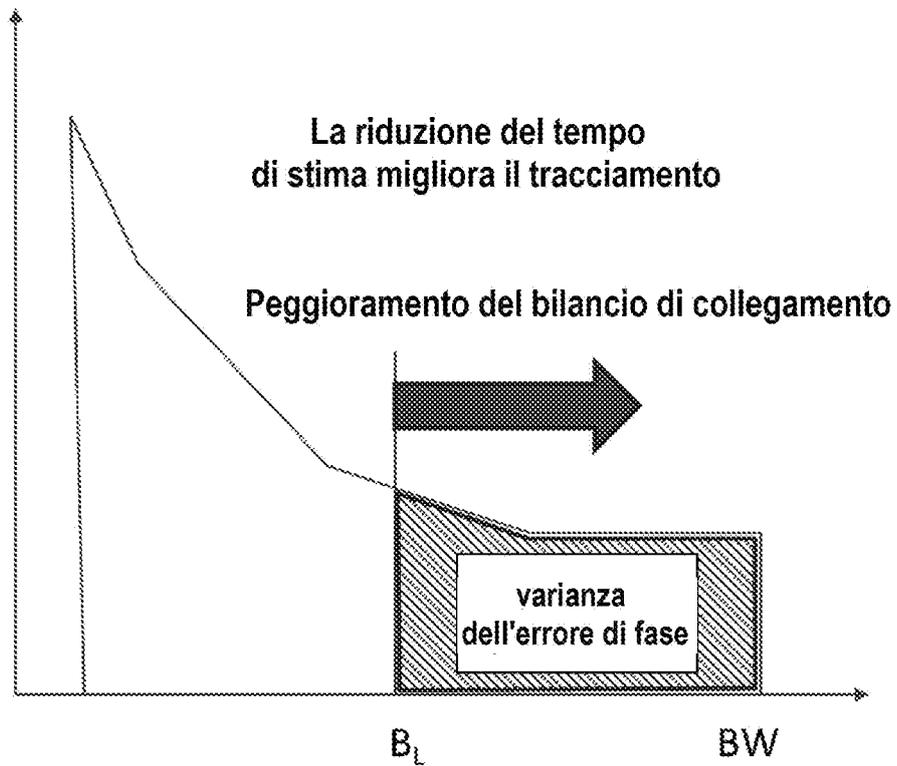
**FIG. 11**



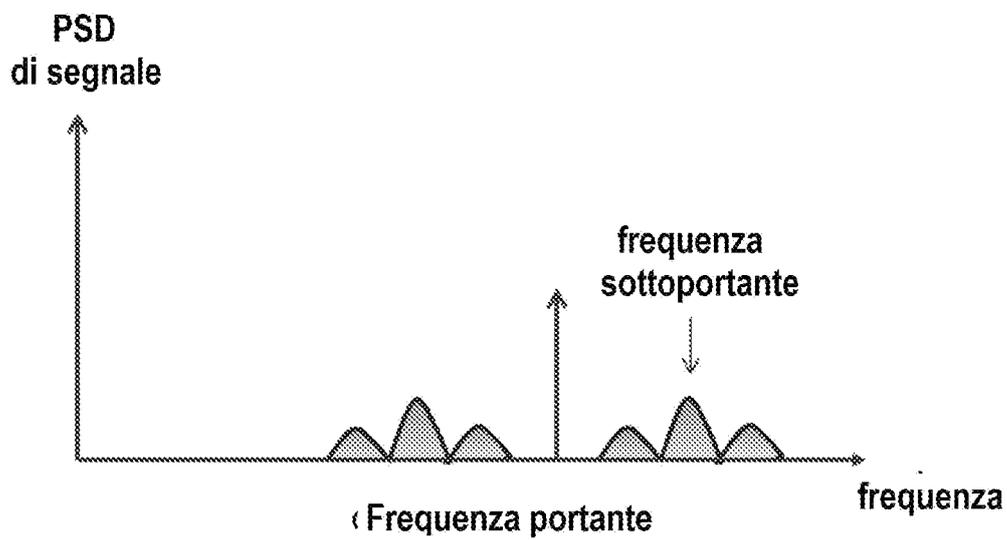
**FIG. 12**



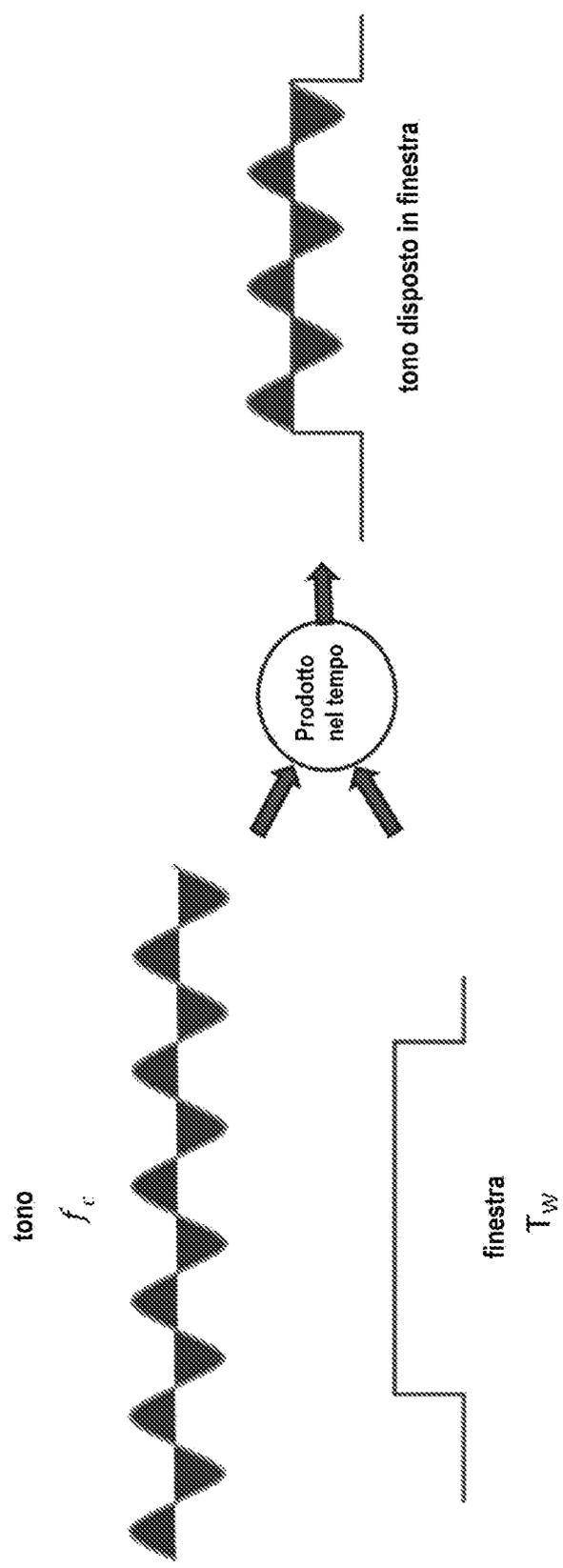
**FIG. 13**



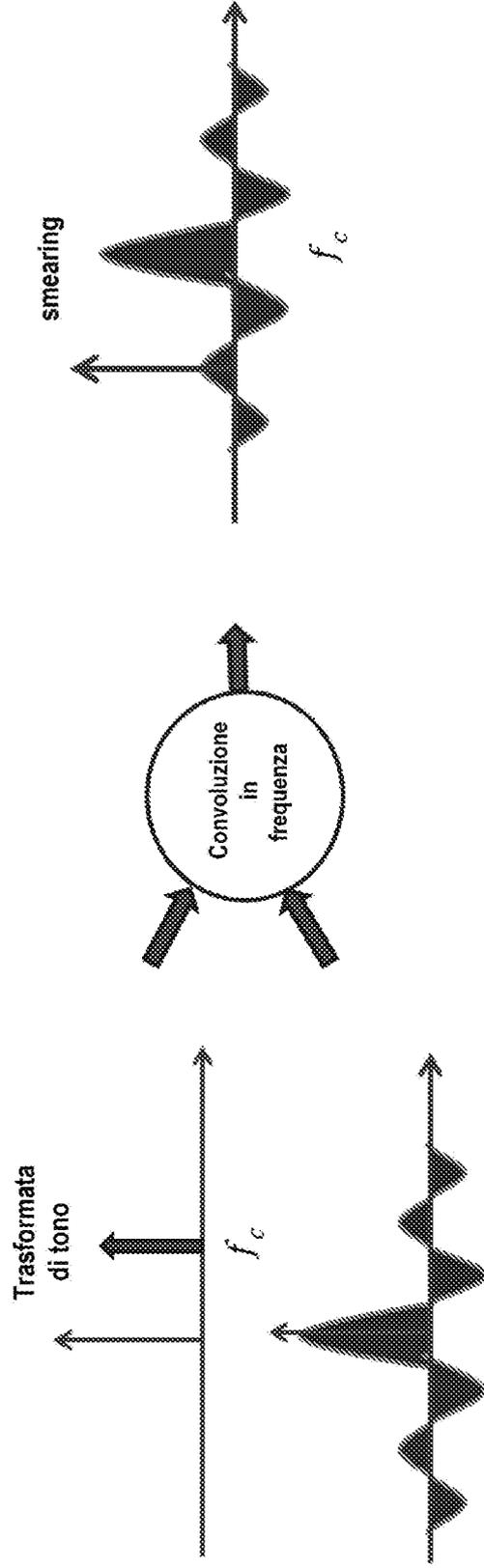
**FIG. 14**



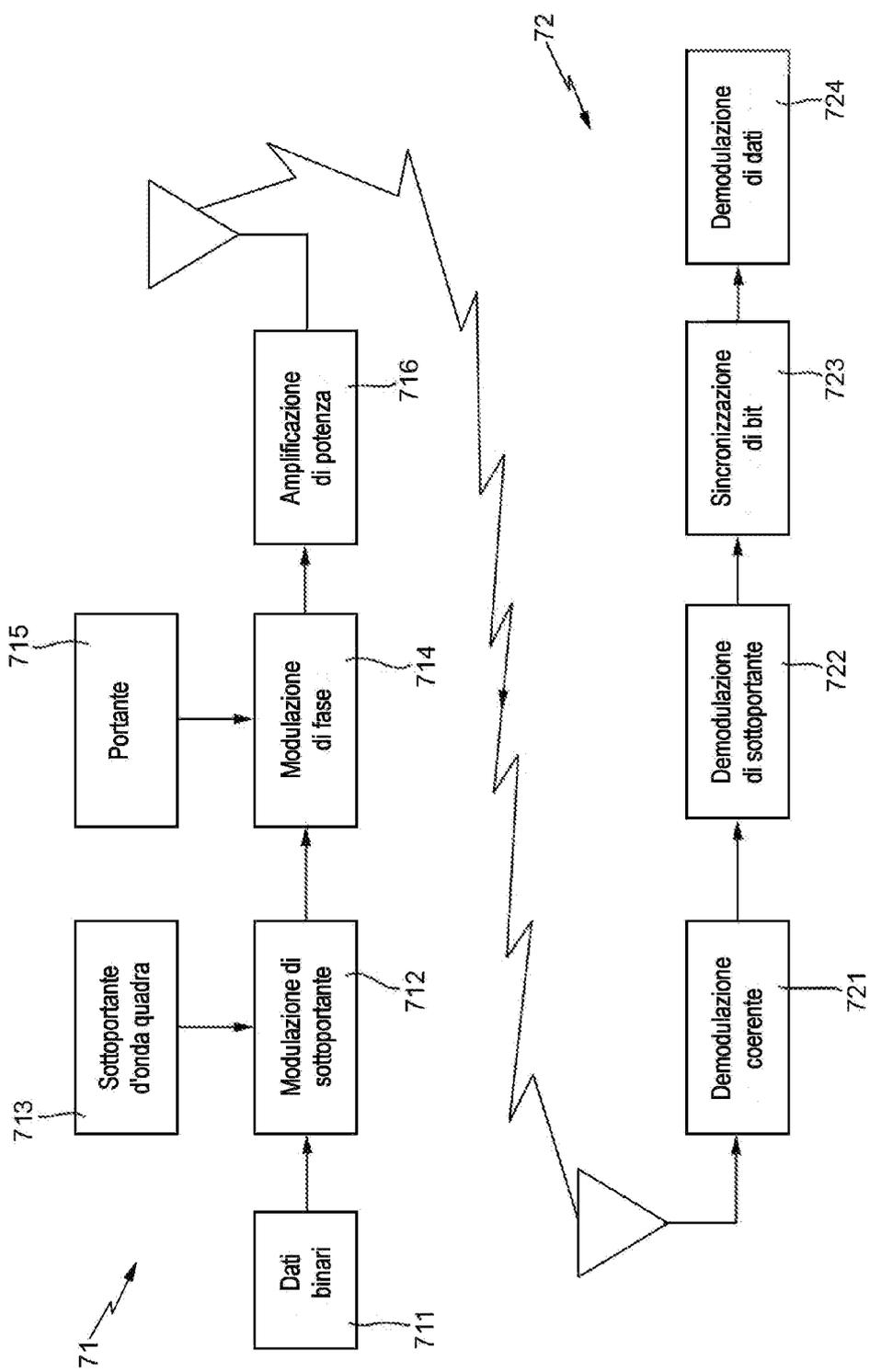
**FIG. 18**



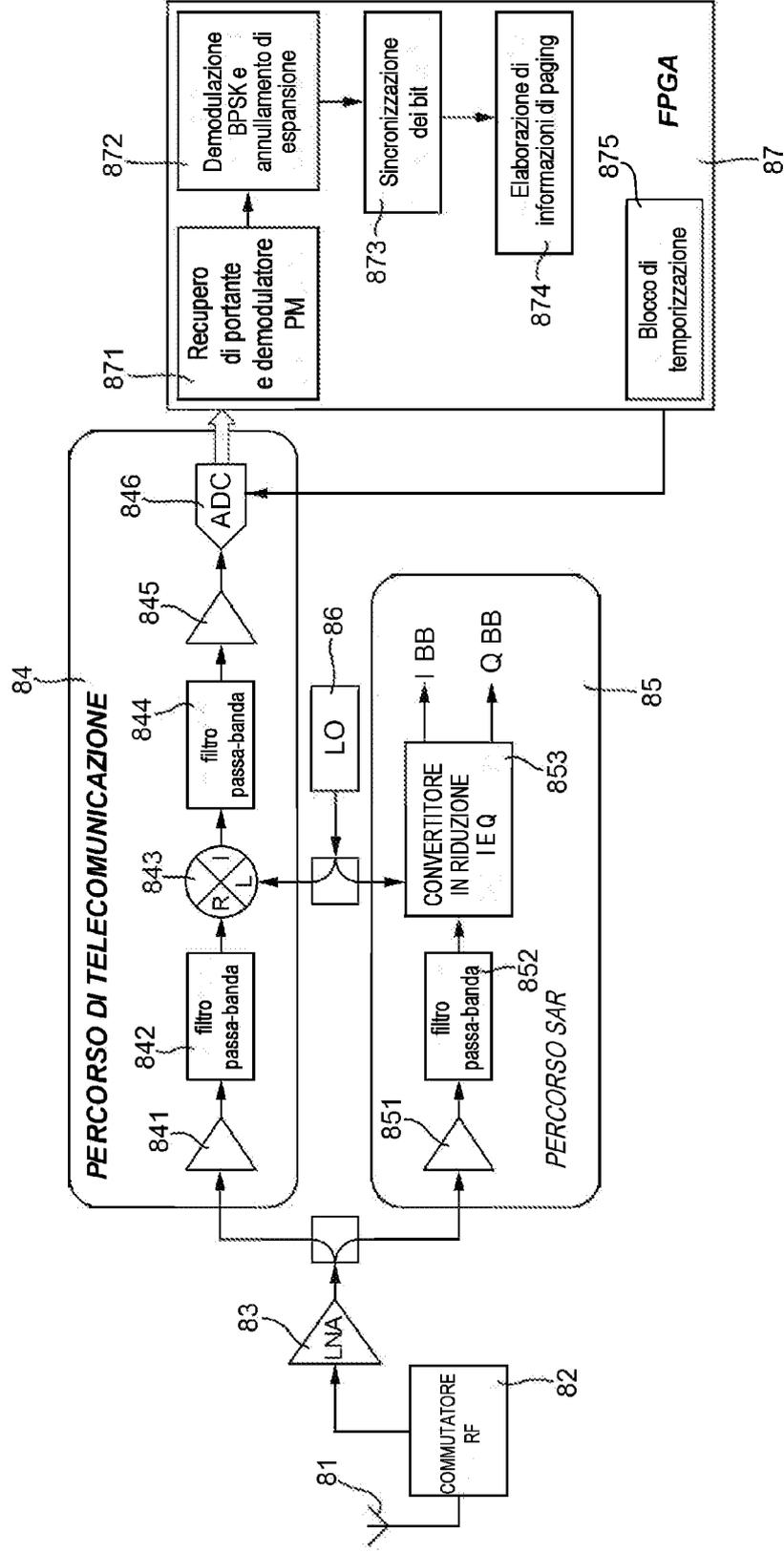
**FIG. 15**



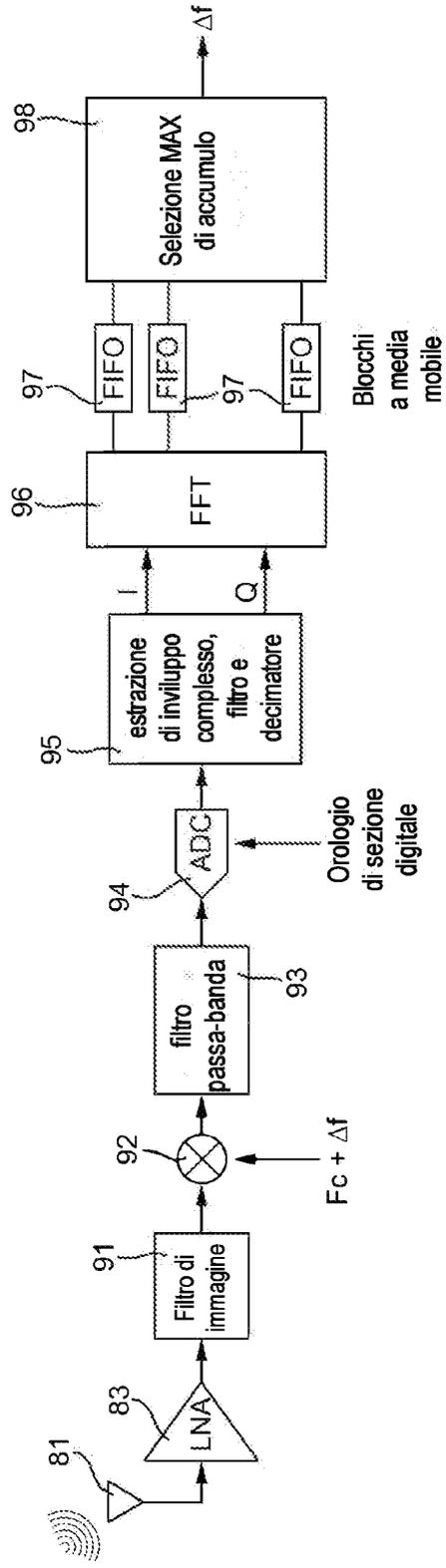
**FIG. 16**



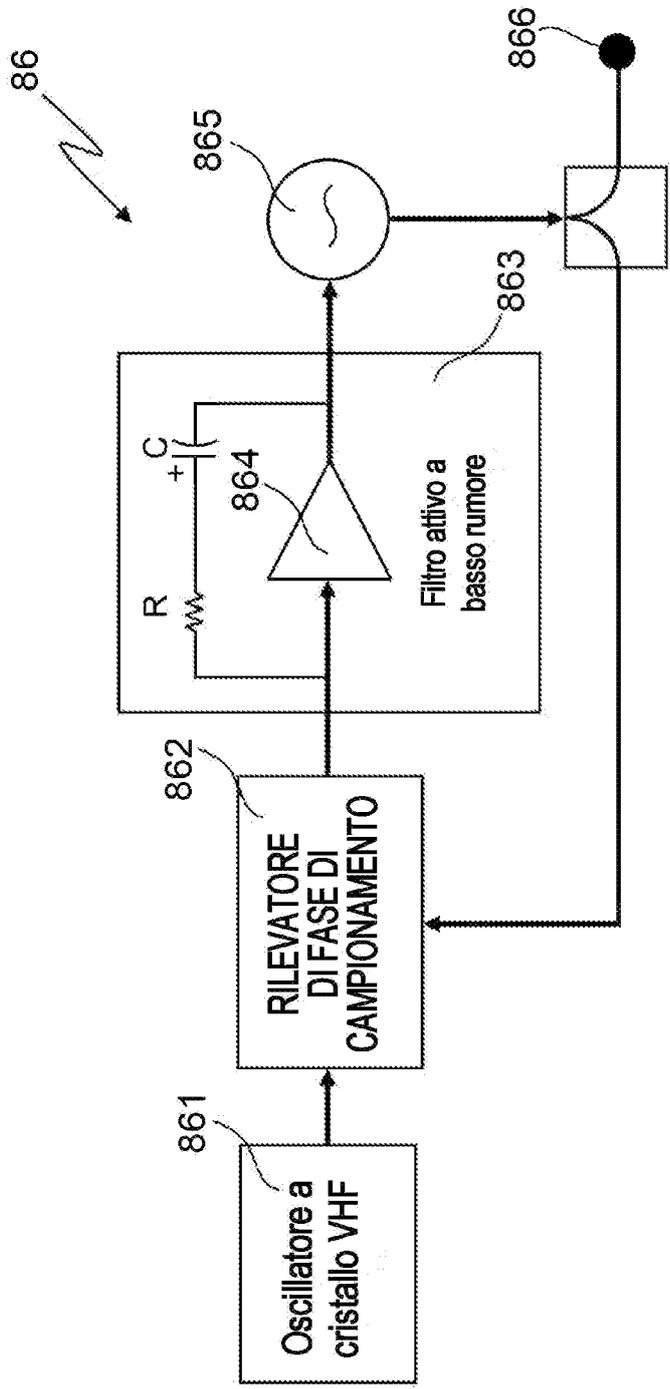
**FIG. 17**



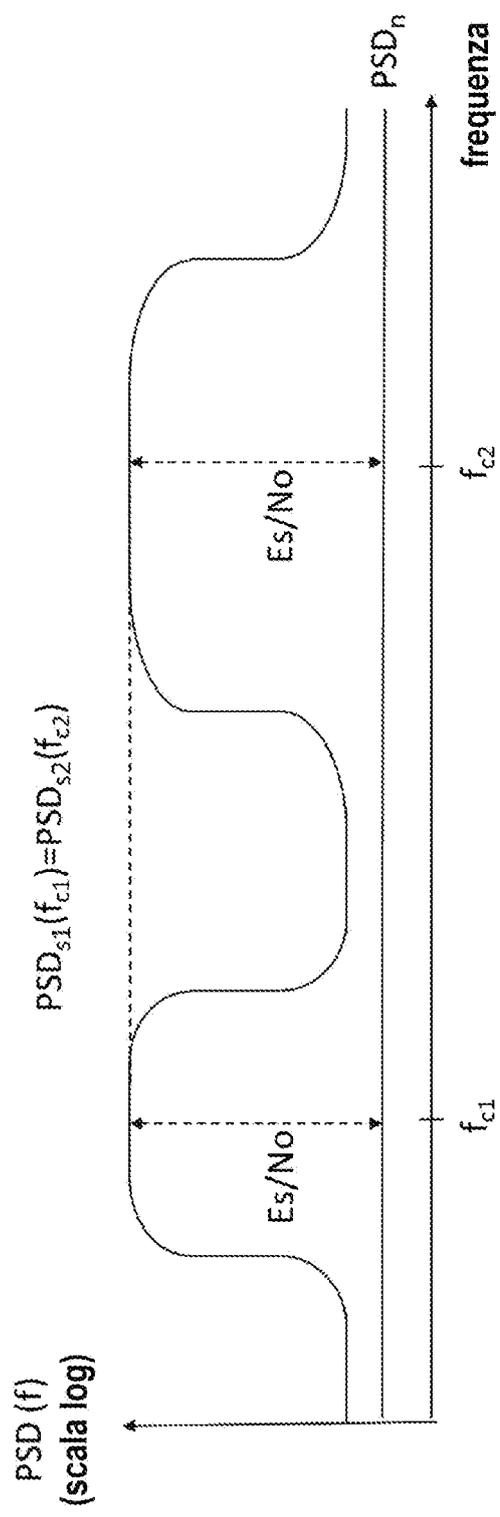
**FIG. 19**



**FIG. 20**



**FIG. 21**



**FIG. 22**