

HRPT - una nuova meta

HRPT (High Resolution Picture Transmission) sono denominate le trasmissioni digitali d'immagini ad elevata risoluzione dei satelliti meteorologici Tiros N e NOAA 6. Questi due satelliti sono sicuramente noti a tutti gli amatori APT per le belle immagini che trasmettono in modo analogico in banda VHF su 137.620 MHz e 137.500 MHz rispettivamente. Ognuno di questi satelliti è però equipaggiato anche di tre trasmettitori nella banda S (1670 ÷ 1710 MHz) sulle frequenze di 1698, 1702.5 e 1707 MHz. Attualmente NOAA 6 trasmette la HRPT su 1698 MHz e Tiros N trasmette la HRPT su 1707 MHz. La portante è modulata di fase con un segnale digitale a due livelli, il livello alto corrisponde a una deviazione della fase $\Delta\varphi = +67.5^\circ$, il livello basso a una deviazione $\Delta\varphi = -67.5^\circ$. Il segnale modulato occupa una banda di 3 ÷ 4 MHz. La ricezione di un segnale a larga banda su 1.7 GHz è un problema di non facile soluzione: nel Technical Report NESS 75 viene consigliato l'impiego di una antenna parabolica di 16 piedi (4,9 m) di diametro! per ottenere un adeguato rapporto segnale/rumore. Un'antenna di queste dimensioni è costosa, ingombrante ed a un lobo di radiazione di pochi gradi, il che rende l'inseguimento del satellite molto difficile. Cerchiamo adesso di calcolare

se è possibile ricevere queste trasmissioni anche con antenne di dimensioni inferiori! Nel calcolo del NESS viene preso un margine di 3dB; inoltre viene considerato il caso peggiore riguardo al diagramma di radiazione dell'antenna trasmittente (-4dB). Se ci limitiamo a ricevere il satellite soltanto quando è più vicino di 1600km (elevazione dell'antenna ricevente oltre 25°), avremo un segnale di 6dB più forte che quando il satellite è sull'orizzonte (distanza 3200km, elevazione 0°). Considerando queste cifre il guadagno d'antenna richiesto scende da 36dBi a 23dBi - un'antenna parabolica da 1,2m di diametro. Prove pratiche hanno pienamente confermato questi calcoli per il satellite Tiros N. Per il NOAA 6 i risultati sono ancora più lusinghieri, il segnale è più forte di 3÷5dB rispetto al Tiros N. Questi calcoli sono stati fatti per un ricevitore avente una cifra di rumore di 5dB circa, facilmente ottenibile con transistori tipo BFR34A, BFR91, MRF901 e simili a basso costo. Impiegando invece un FET al GaAs è possibile ottenere una figura di rumore al di sotto di 1.5dB, purtroppo il prezzo di questi semiconduttori è ancora assai elevato. La polarizzazione del segnale è circolare destrorsa, quindi l'illuminatore della parabola deve essere un elicoide sinistrorso (il paraboloide è uno specchio!)

Sulla figura 1. è riprodotto lo schema a blocchi del

ricevitore a doppia conversione. La prima frequenza intermedia è di 150MHz, la seconda è di 10,7MHz (frequenza centrale, data la larghezza di 3MHz e una banda da 9,2 a 12,2MHz!). Una catena di media frequenza separata, a banda stretta (150kHz), è utilizzata per il controllo automatico della frequenza (AFC). L'amplificatore di media frequenza a 10,7MHz a larga banda può lavorare sia nella regione lineare (AGC funzionante), sia come amplificatore/limitatore (AGC escluso). Il demodulatore di fase è un PLL. Il comparatore di fase^{1°} fornisce il segnale demodulato PCM e tramite un filtro passa-basso la tensione di correzione al VCO. Il comparatore di fase^{2°} serve unicamente a pilotare lo strumento denominato $\cos\varphi$. Facendo un'analisi matematica del segnale si può provare che l'indicazione di questo strumento è proporzionale al coseno dell'angolo della deviazione della fase. In pratica questo strumento si è rivelato molto prezioso, dalla sua indicazione si può calcolare il rapporto S/N, inoltre segnala il lock del PLL. Da qui in avanti il segnale viene processato da circuiti digitali.

Il segnale proveniente dal satellite è un PCM-S ϕ (Pulse Code Modulation - Split Phase) a 665.4 kbit/s. Split phase significa che a ogni bit trasmesso corrispondono due livelli di modulazione. La definizione del "1" logico è $+\varphi$ nella prima metà e $-\varphi$

nella seconda metà del bit (vedi figura 4.) La definizione del "0" logico è invece $-\varphi$ nella prima metà del bit e $+\varphi$ nella seconda metà. Il segnale proveniente dal demodulatore viene per primo trasformato in un segnale a livello TTL. Dato che si tratta d'una trasmissione digitale sincrona, non ci sono bit di lunghezza o ampiezza speciali per la sincronizzazione. Il segnale è una serie di bit uguali senza interruzioni. Nella fase di ricezione dobbiamo per primo estrarre dal segnale il clock. Questo compito viene eseguito da un PLL con un comparatore di fase digitale, sensibile alle transizioni di livello. In questo modo otteniamo un clock, che a il periodo esatto di 1 bit, però non sappiamo ancora se la sua fase è corretta (vedi figure 2 e 4). In una trasmissione $S\phi$ ci sono delle transizioni di livello sia all'inizio che alla metà dei bit ed il nostro PLL si può facilmente sincronizzare erroneamente. Nella figura 4. ho presupposto che i bit incominciano al fronte di salita del clock. Allo scopo di trovare la giusta fase del clock abbiamo due detector d'errore, pilotati con clock di fasi opposte. In una trasmissione $S\phi$ abbiamo sempre una transizione di livello alla metà del bit. Se questa transizione manca, allora c'è un errore nella fase del clock. Per correggere la fase del clock viene utilizzata una porta EXOR. I circuiti che generano un clock coerente vengono spesso chiamati

bit-rate synchronizer nella letteratura. Il condizionatore dei bit (bit conditioner) rigenera i livelli logici originali "0" e "1", come prima della codifica $S\emptyset$.

In una trasmissione digitale i dati vengono normalmente trasmessi come gruppi di un certo numero di bit, chiamati parole (words). Nel caso della HRPT di Tiros N e NOAA 6 (questi due satelliti sono praticamente uguali) una parola è lunga 10 bit, il numero binario che questi 10 bit rappresentano è direttamente proporzionale alla grandezza fisica che viene trasmessa. Una parola rappresenta 1 elemento del mosaico dell'immagine trasmessa (1 elemento d'immagine = 1 pixel (picture element)). La grandezza del numero binario rappresentato dalla parola è direttamente proporzionale alla luminosità dell'elemento dell'immagine. Per primo viene trasmesso il bit più importante (prima cifra del numero binario) = MSB. Segue la seconda cifra, poi la terza e così via fino alla ultima decima cifra = LSB. Immediatamente dopo l'ultimo bit della parola viene trasmesso il primo bit (MSB) della parola seguente e così via.

La figura 5 mostra come viene trasmessa una linea dell'immagine, che contiene 2048 punti - elementi d'immagine per ognuno dei 5 canali spettrali del radiometro del satellite. Ma come farà il nostro ricevi

tore a distinguere quando iniziano le parole, se non ci sono né impulsi d'inizio, né di fine di queste? Questo è il compito del sincronizzatore di frame. Al inizio del frame, che nel caso della HRPT di TirosN e NOAA 6 contiene i dati di 1 linea dell'immagine (ma non nel caso del Meteosat), viene trasmessa una sequenza fissa di 60 bit esattamente definita, che rappresenta l'impulso di sincronismo per tutta la lunghezza del frame (110900 bit). L'unica limitazione di questo sistema è che la sequenza dei 60 bit non deve verificarsi anche in qualche altro posto del frame! In pratica però basta che la probabilità che ciò si verifichi sia abbastanza piccola. Il sincronizzatore del frame è costituito da un detector della sequenza di sincronismo (in pratica basta verificare 32 bit) e da un preciso timer, che esclude il detector fino alla seguente sequenza di sincronismo quando riceve un impulso di sincronizzazione. In questo modo la probabilità di sincronizzarsi su d'una falsa sequenza di sincronismo viene ulteriormente diminuita.

Arrivati a questo punto non ci resta che trasformare la serie di bit in un segnale analogico da inviare al display o al registratore (vedi figura 3). Dalla figura 5. possiamo apprendere che i dati relativi a un selezionato canale spettrale sono ritrasmessi ogni 50 bit. La serie di bit viene fatta scorrere in un

shift register e ogni 50 bit, al momento opportuno, l'informazione contenuta nel shift register viene trasferita in un latch. Il momento di questo trasferimento è determinato dal contatore modulo 50 pilotato dal clock e sincronizzato dall'impulso del sincronizzatore del frame. Non ho ritenuto necessario utilizzare più di 8 bit dei 10 bit trasmessi, già con 8 bit si ottengono 256 livelli di grigio possibili sulla foto! Il convertitore D/A è una rete di resistenze R-2R (12k Ω e 24k Ω nel prototipo) pilotata da porte buffer CMOS. Per ricevere più canali spettrali allo stesso tempo basta aggiungere dei circuiti come in figura 3. per ogni canale al complesso ricevente. All'uscita di questo circuito ho aggiunto un oscillatore audio ed un modulatore AM per ottenere un segnale compatibile con le apparecchiature standard APT. Il segnale video ottenuto richiede una larghezza di banda di 6654Hz minima, quindi l'oscillatore audio dovrebbe funzionare almeno su 8kHz per non perdere in risoluzione. Nelle prime prove però ho preferito impiegare una frequenza della sottoportante di 4kHz, perdendo in risoluzione, ma facilitando la registrazione su nastro (come su figura 3.)

Le immagini HRPT hanno una risoluzione di 1,1km al centro dell'immagine. A differenza delle immagini APT, i bordi delle HRPT sono affetti dalla distorsione

geometrica causata dal sistema di ripresa a radiometro. Il computer a bordo del satellite „linearizza“ la scansione d'una linea HRPT e la trasmette come APT analogica in banda VHF. Purtroppo questo processo di linearizzazione ha il difetto di ridurre la risoluzione dell'immagine. La HRPT viene trasmessa con la velocità di 6 linee (frames) al secondo.

Gran parte dei amatori APT, autore compreso, utilizza per la riproduzione delle foto APT un display con un tubo CRT per TV. Purtroppo un tale tubo ha una risoluzione di sole $400 \div 500$ linee, il che in pratica limita la risoluzione delle foto ricevute. Una buona idea è di riprodurre sul display soltanto la parte centrale della foto con la massima risoluzione possibile. Le foto che allego a questo articolo sono ottenute con questo metodo, utilizzando una memoria RAM da 4kbit ($512 \text{ pixel} \times 8 \text{ bit}$) per l'„espansione“. In questo modo ho anche diminuito la banda di frequenze video a circa 2kHz facilitando la registrazione. Non pubblico lo schema a blocchi di questo apparecchio per non complicare troppo l'argomento.

In questo articolo ho cercato di presentare questo nuovo metodo di trasmissione impiegato dai satelliti meteorologici. Sono partito dal presupposto, che il lettore abbia già una certa conoscenza sull'argomento, per l'altro dettagliatamente trattato su CQ elettronica da W. Medri nella sua serie d'arti

coli „Progetto Starfighter“ ed altri.

Letteratura

1. W. Medri: Attuale e futura attività APT, CQ 2/77
2. NOAA Technical Report NESS 75: Guide For Designing RF Ground Receiving Stations For Tiros-N
3. NOAA Technical Memorandum NESS 95: The Tiros-N/Noaa A-G Satellite Series
4. ESA, Meteosat Programme, Dissemination Mission, High Resolution Image Transmissions
5. W. Medri: Progetto Starfighter, serie d'articoli su CQelettronica

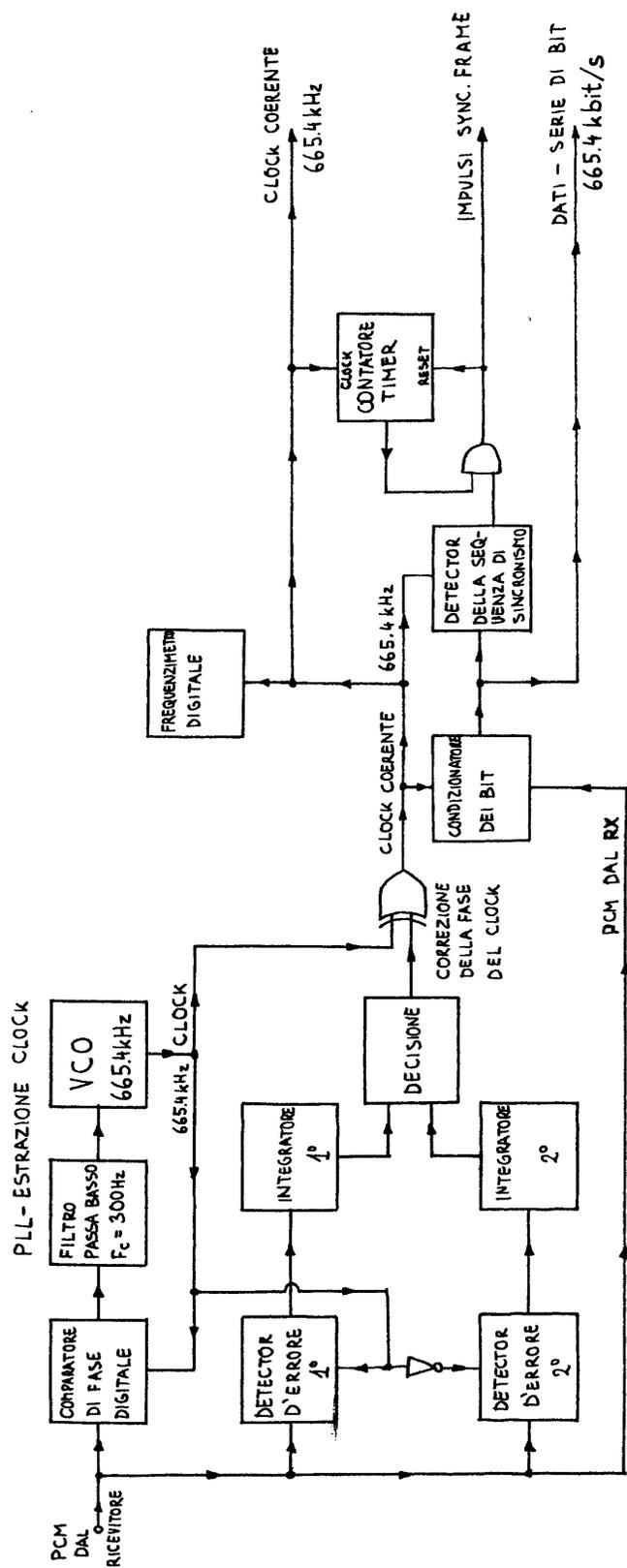


Figura 2. - Schema a blocchi della stazione HRPT,
bit-rate e frame synchronizer

Nidmar Matjazi, YU3UMV
N.GORICA, 22.6.1980

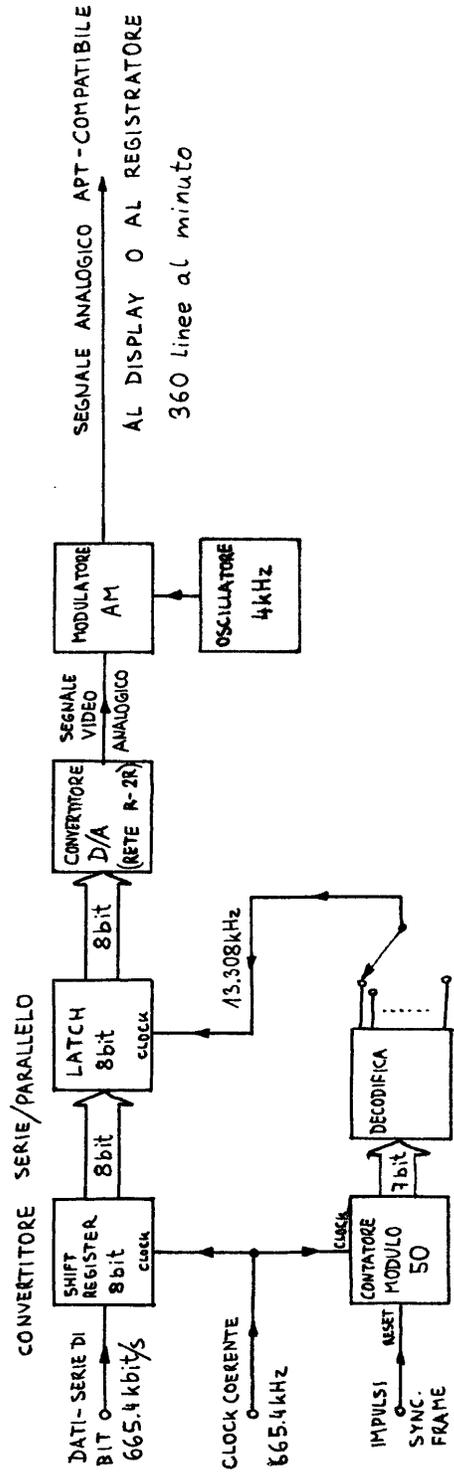


Figura 3. - Schema a blocchi della stazione HRPT, conversione del segnale digitale in un segnale APT compatibile

Nidmar Matjač, YU3UMV
 N.GORICA, 22.6.1980

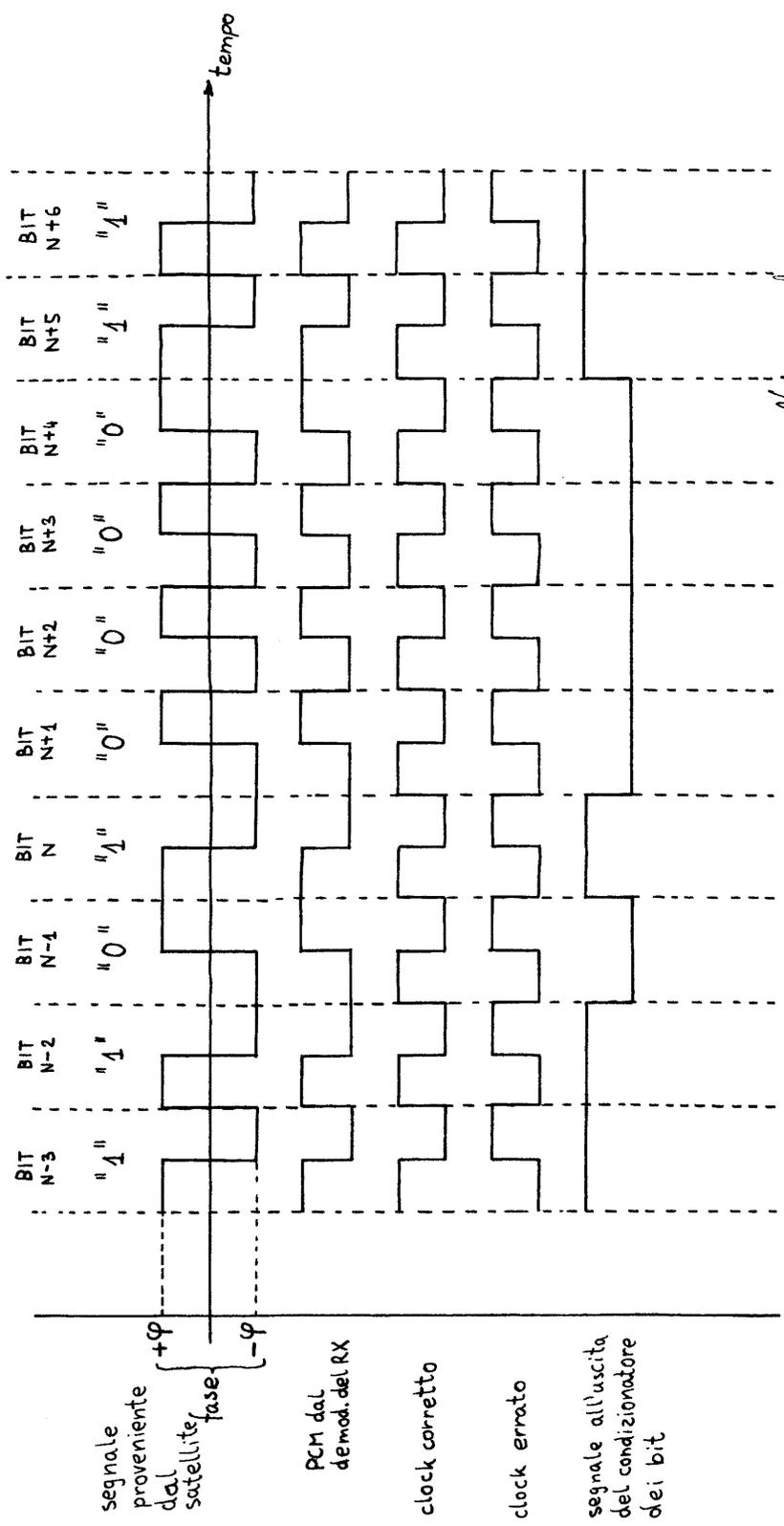
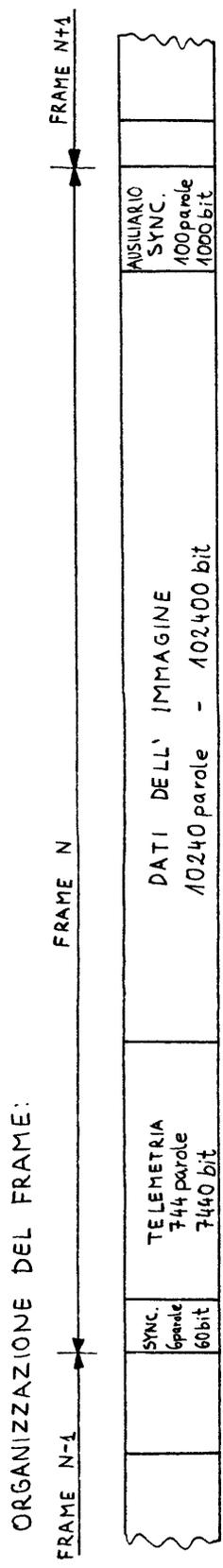


Figura 4. - Esempio di ricezione della sequenza 1101000011

Nidmar Matjazi, YU3UMV
 N.GORICA, 22.6.1980



1 FRAME = 11090 PAROLE = 110900 bit

1 PAROLA = 10bit

1 Linea dell'immagine = 1 FRAME = 2048 elementi d'immagine x 5 canali spettrali

DATI DELL'IMMAGINE:



N.B.: La struttura della telemetria richiederebbe un articolo intero!

Figura 5. - Struttura del frame

Nidmar Matjač, YU3UMV
N.GORICA, 22.6.1980

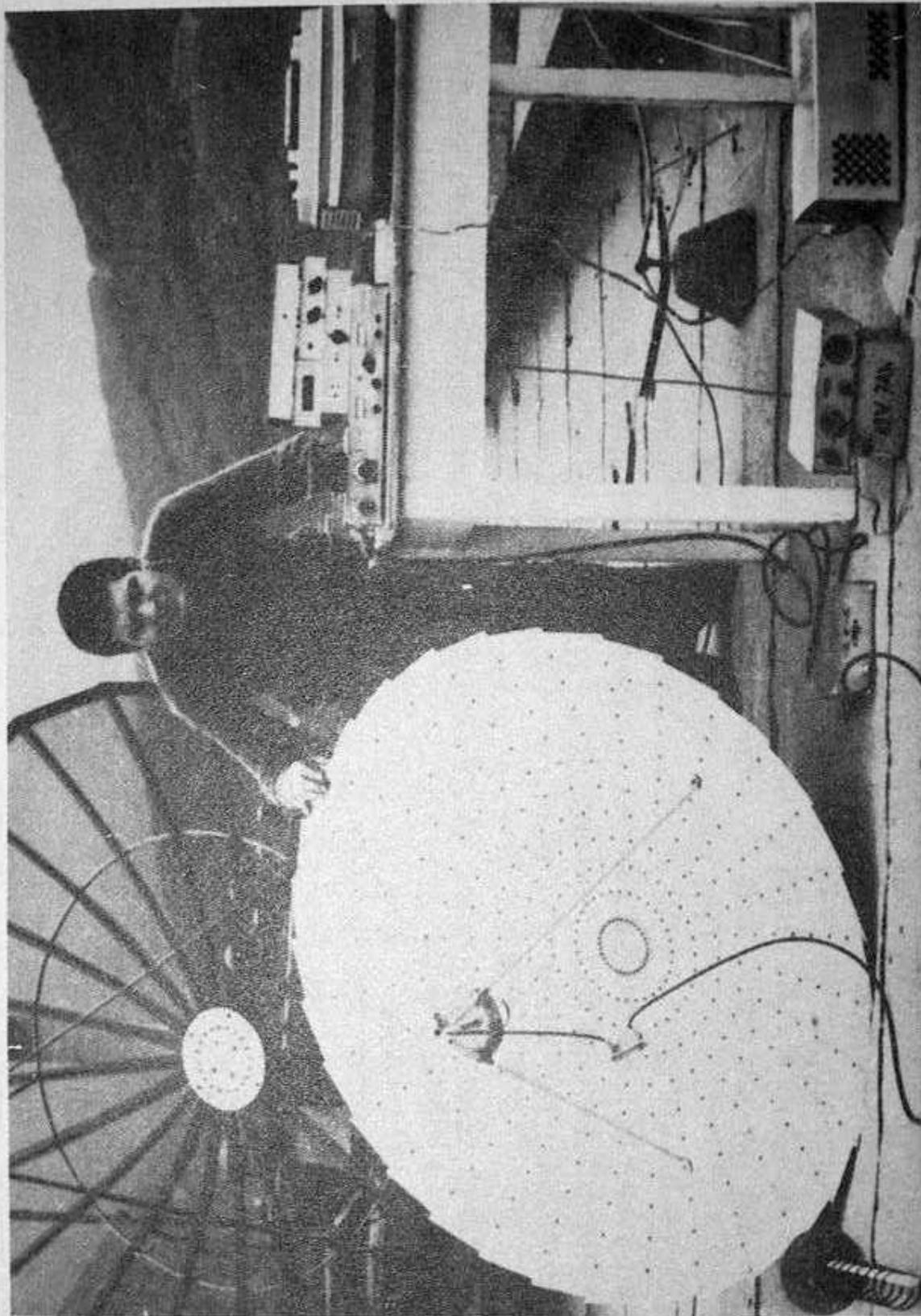


figura 6

La mia stazione HRPT: in primo piano il paraboloide da 1,2 m e il ricevitore (sul tavolo).

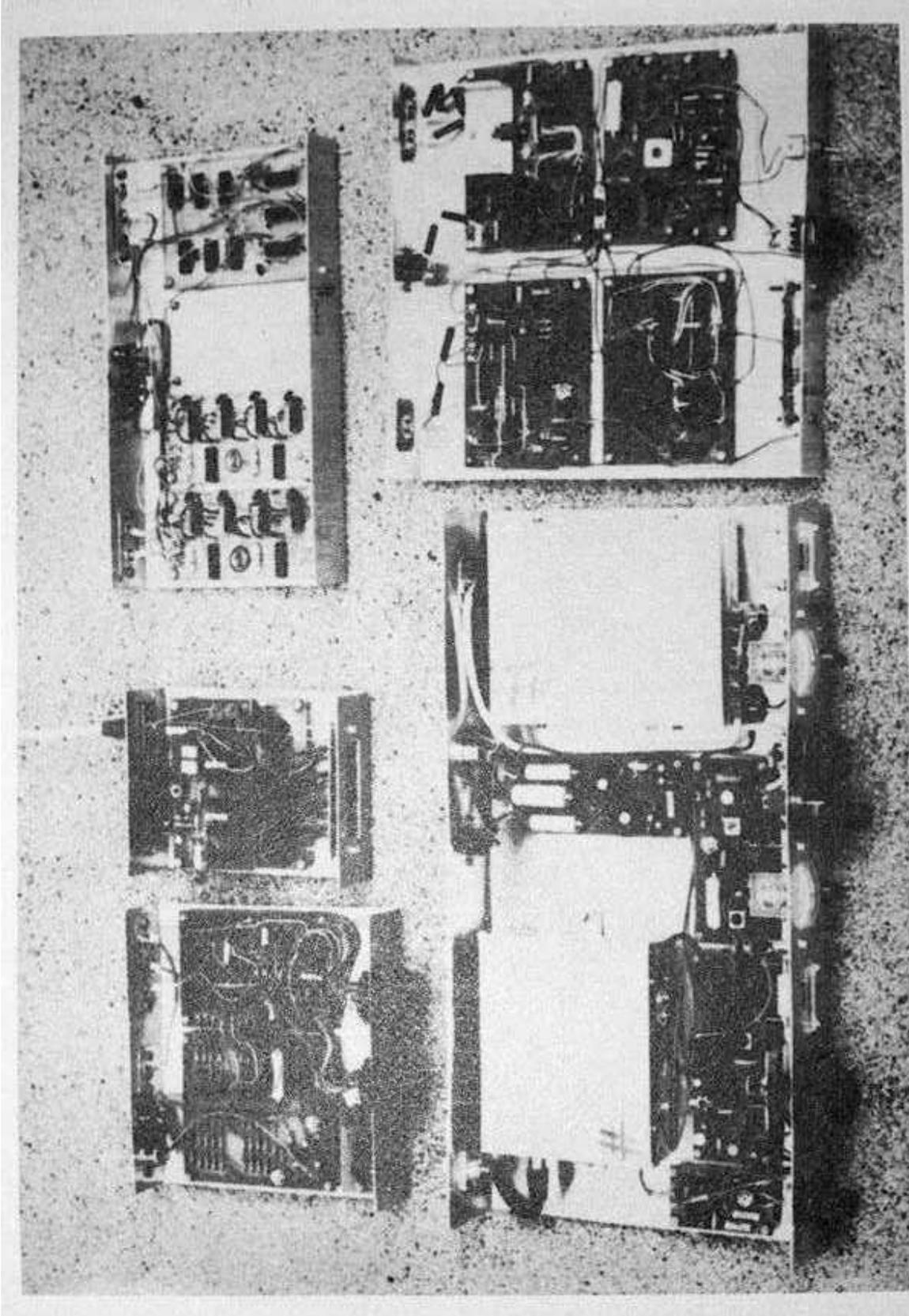


figura 7

L'apparecchiatura ricevente (manca soltanto il primo convertitore) impiega 70 (settanta!) circuiti integrati TTL nella parte digitale.

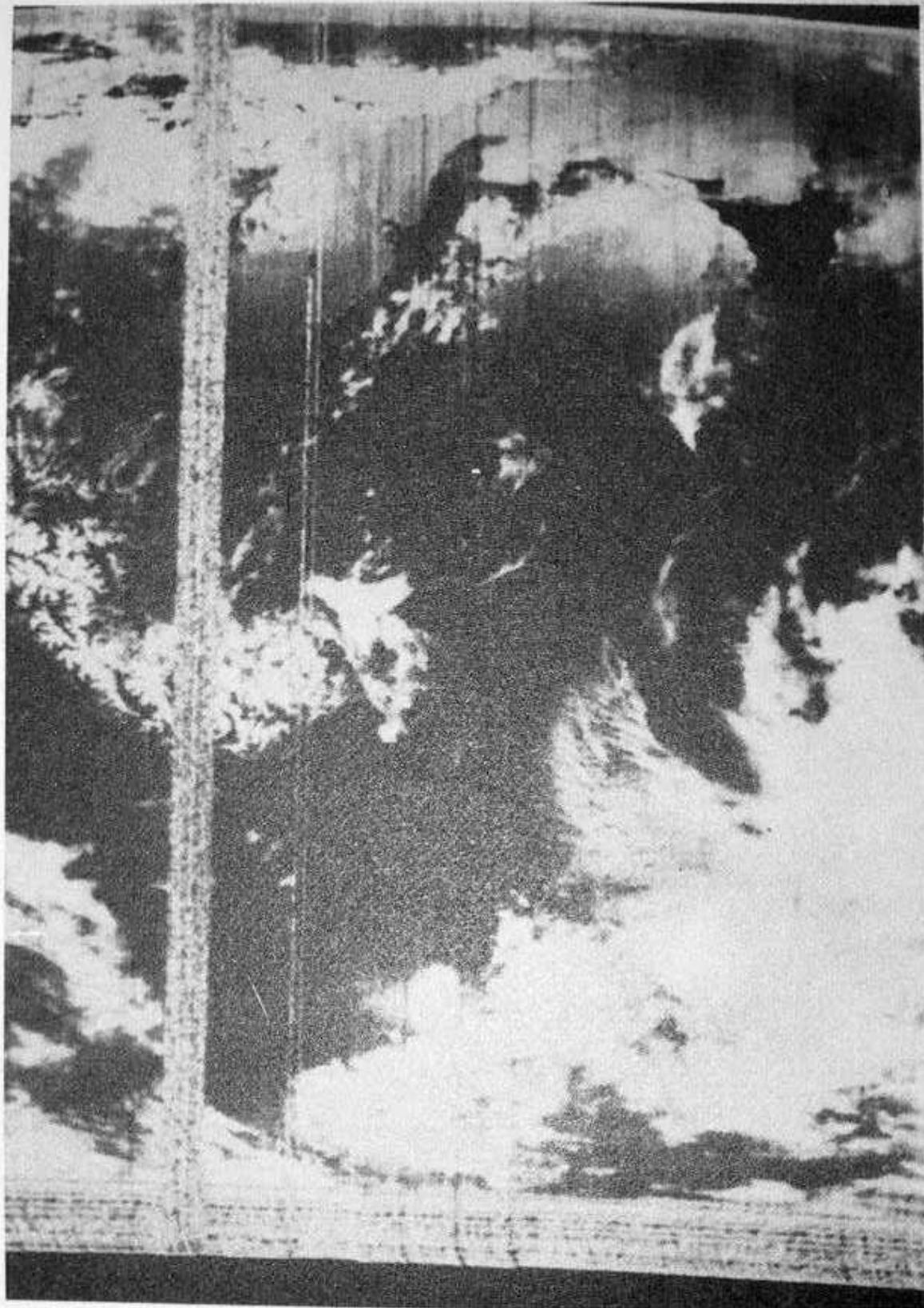


figura 8

Immagine HRPT intera di NOAA6 nello spettro visibile (2.048 pixel per linea).
Notare la riflessione della luce solare sul mare a destra.



figura 9
Parte dell'immagine di NOAA6 (512 pixel): Sicilia e Calabria; notare la nebbia nello stretto di Messina.

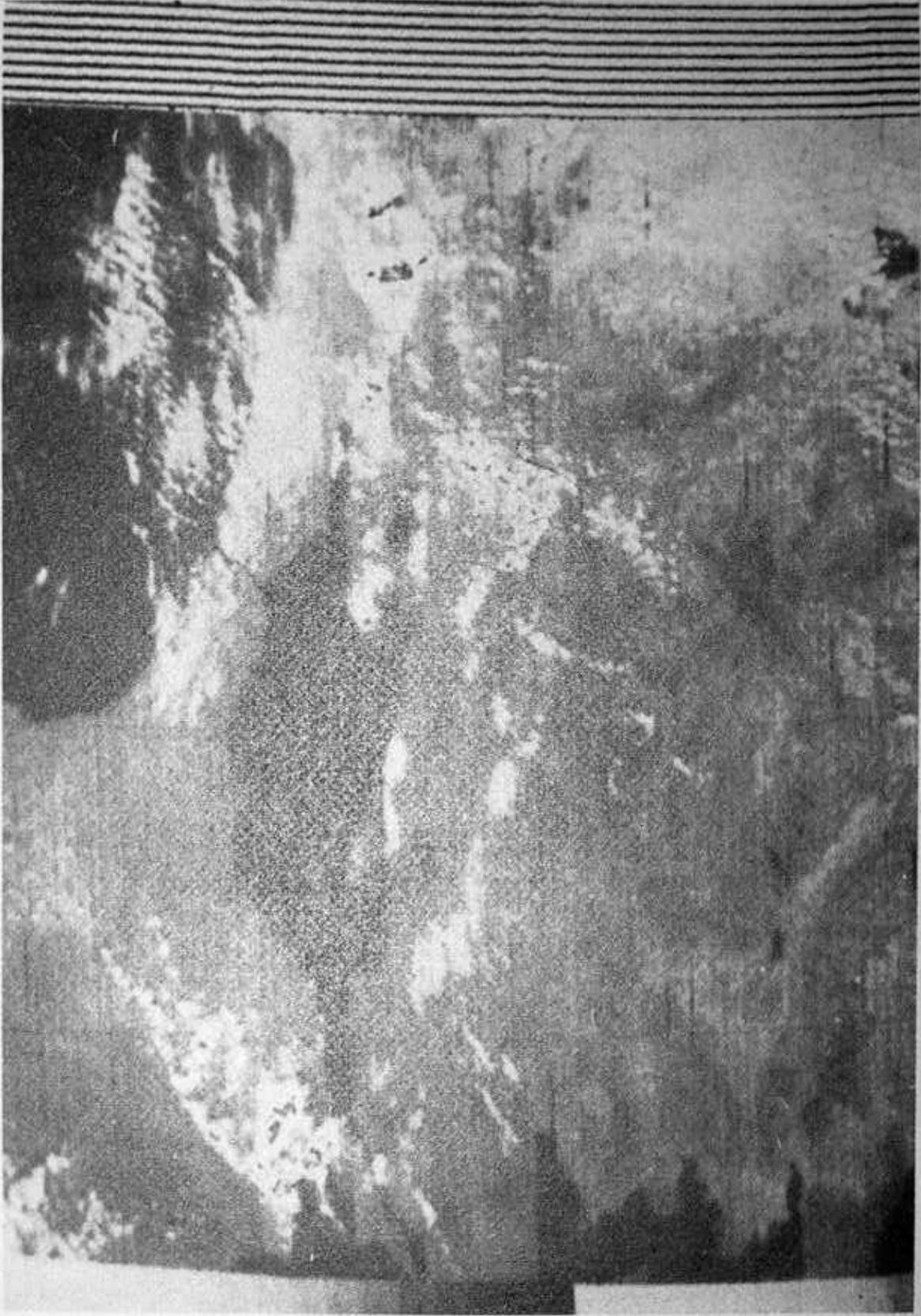


figura 10

Parte dell'immagine di TIROS N (512 pixel): Turchia seittentrionale, mare di Marmara e Bosforo.



figura 11

Parte della HRPT di TIROS N (512 pixel): il delta del Nilo e il canale di Suez.

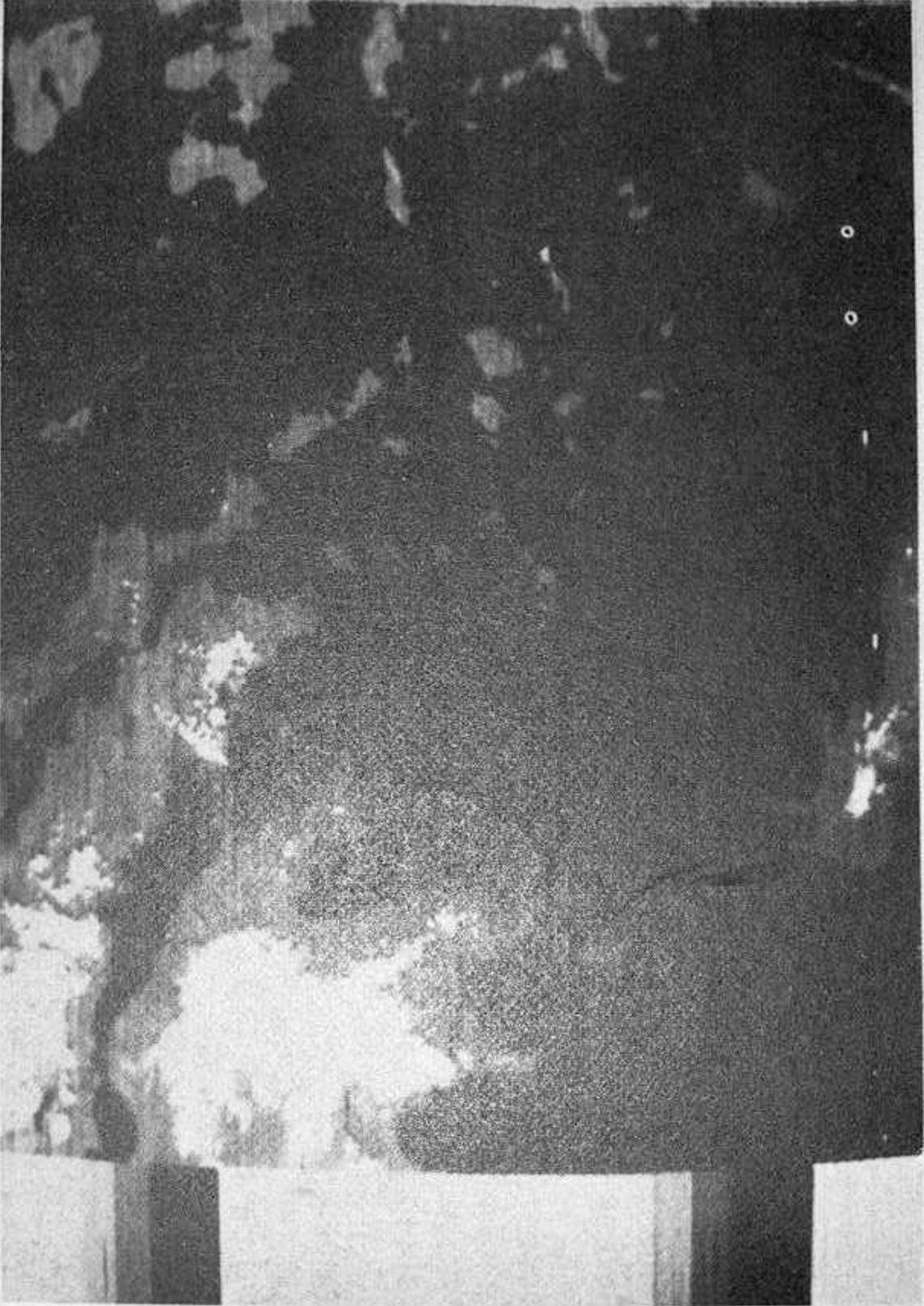


figura 12

Parte della HRPT di TIROS N (512 pixel): Grecia, mare Egeo (la scala dei grigi è generata dall'ap-
parecchiatura ricevente, non dal satellite).

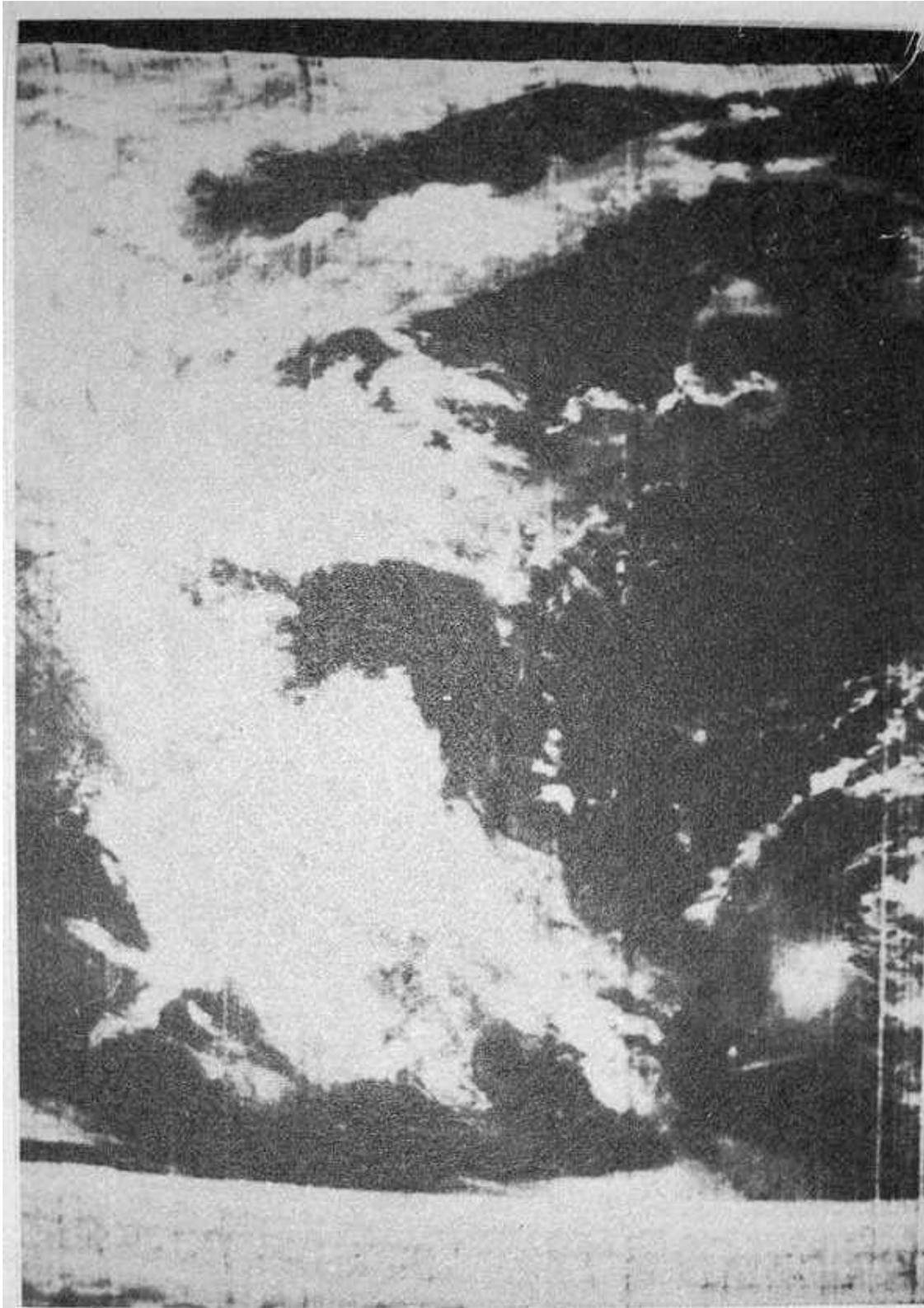


figura 13

Immagine HRPT intera di TIROS N (2.048 pixel).
Notare la distorsione geometrica ai bordi (la barra bianca a sinistra dell'immagine è la telemetria!).

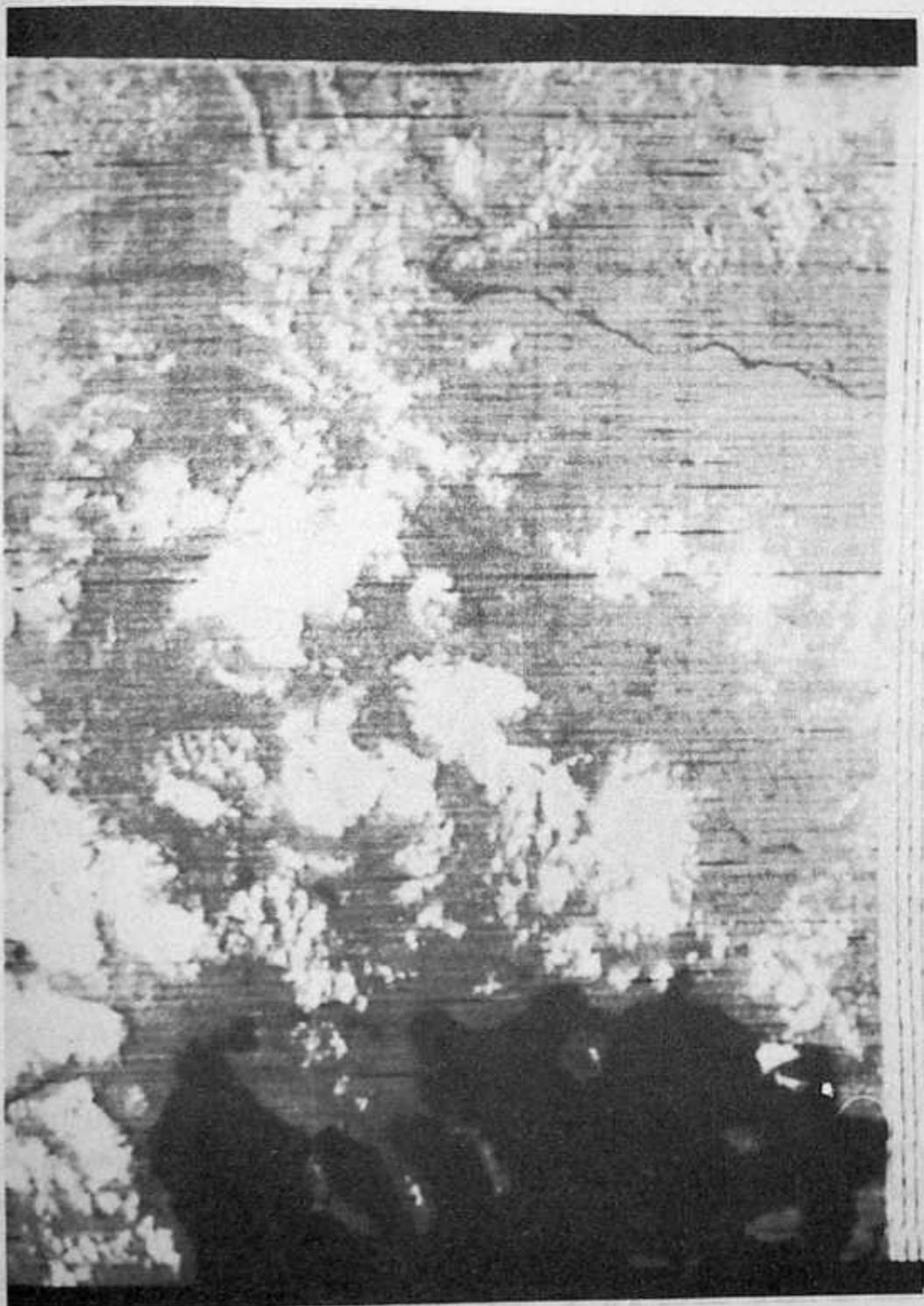


figura 14

Parte della HRPT di TIROS N (512 pixel): Grecia settentrionale e Bulgaria; notare il fiume Danubio in alto sull'immagine (l'impulso di sincronismo a destra è generato dall'apparecchiatura ricevente, non dal satellite).