

PIATTAFORMA AEREA STRUMENTATA PER CAMPIONAMENTO E MISURE DI RADIOATTIVITÀ PER MONITORAGGIO ED INTERVENTI IN DIVERSE SITUAZIONI INCIDENTALI.

D. Castelluccio¹, S. Chiavarini², E. Cisbani¹, U. Delprato³, R. Fratoni¹, S. Frullani¹, M. Gaddini⁴, F. Giuliani¹, C. Marchiori⁵, A. Mostarda¹, G. Paoloni⁵, E. Pianese⁴, L. Pierangeli¹, P. Veneroni¹

¹Dipartimento Tecnologie e Salute, Istituto Superiore di Sanità, Viale Regina Elena 299, 00161-Rome, Italy;

²Centro Ricerche della Casaccia, ENEA, 00100-S. Maria di Galeria- Rome, Italy;

³IES Solutions srl, Via del Babuino 99, 00187-Rome, Italy;

⁴Direzione Centrale per l’Emergenza ed il Soccorso Tecnico, Ministero degli Interni, Piazza Scilla 2, 00178-Rome, Italy;

⁵Dipartimento di Meccanica e Aeronautica, Facoltà di Ingegneria, Università di Roma “La Sapienza”, Via Eudossiana 18, 00184 Rome, Italy;

1. IL MONITORAGGIO AEREO DEL RILASCIO SEGUITO ALL’INCIDENTE DI CHERNOBYL: L’ESPERIENZA ITALIANA

Venti anni fa un notevole sforzo fu profuso in Europa per quantificare i livelli di contaminazione [1] al suolo raggiunti nell’incidente di Chernobyl (il cui rilascio ebbe inizio il 26 Aprile 1986 per terminare dieci giorni dopo) a causa della deposizione di radionuclidi dovuta al passaggio di una nube radioattiva. A causa della vastità del territorio contaminato molti Paesi fecero uso di sistemi montati a bordo di velivoli per poter monitorare nel minor tempo possibile l’area contaminata. In Italia, così come in molti altri Paesi, tali sistemi erano stati sviluppati negli anni precedenti per poter far fronte alle situazioni di emergenza connesse con i rientri non controllati in atmosfera terrestre di satelliti alimentati con sistemi nucleari [2] o per la ricerca di sorgenti disperse o lasciate incostituite, le cosiddette “orphan/lost sources” (uno strumento moderno studiato per tale tipo di ricerche è descritto in [3]). Rivelatori gamma di grandi dimensioni o serie di rivelatori erano montati a bordo di velivoli ad ala fissa o elicotteri e, in tal modo, sorgenti relativamente grandi potevano essere rivelate volando a bassa quota. Sistemi analoghi erano utilizzati per il monitoraggio di impianti nucleari o impianti ove viene stoccato o si fa utilizzo di materiale radioattivo.



Fig.1 A sinistra la struttura di sostegno del rivelatore NaI(Tl) alloggiato sotto la fusoliera dell’elicottero Agusta-Bell 412 che fu utilizzato ai tempi dell’incidente di Chernobyl e (a destra) la collocazione a bordo dello stesso elicottero della strumentazione di gestione e controllo del sistema.

Agli inizi degli anni ’80 [4] l’Istituto Superiore di Sanità, in collaborazione con il Laboratorio Nazionale di difesa Atomica del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, mise a punto un sistema di misura che fu installato a bordo di un elicottero Agusta-Bell 412. Essenzialmente il sistema di rivelazione consisteva di un rivelatore allo Ioduro di Sodio (NaI(Tl)) di notevoli dimensioni (16” x

4" x 4") che, dotato di un opportuno sistema antivibrante, trovava alloggio nella parte inferiore della fusoliera dell'elicottero (vedi fig1a). A bordo del velivolo era alloggiata anche tutta la strumentazione di gestione del sistema. (vedi fig1b)

I percorsi seguiti dalle nubi che si sprigionarono nell'incidente furono estremamente complessi. Essi furono fortemente influenzati dalle condizioni atmosferiche e dall'orografia del territorio attraversato e determinarono, per tale ragione, la contaminazione praticamente di tutti i Paesi dell'emisfero boreale [5].

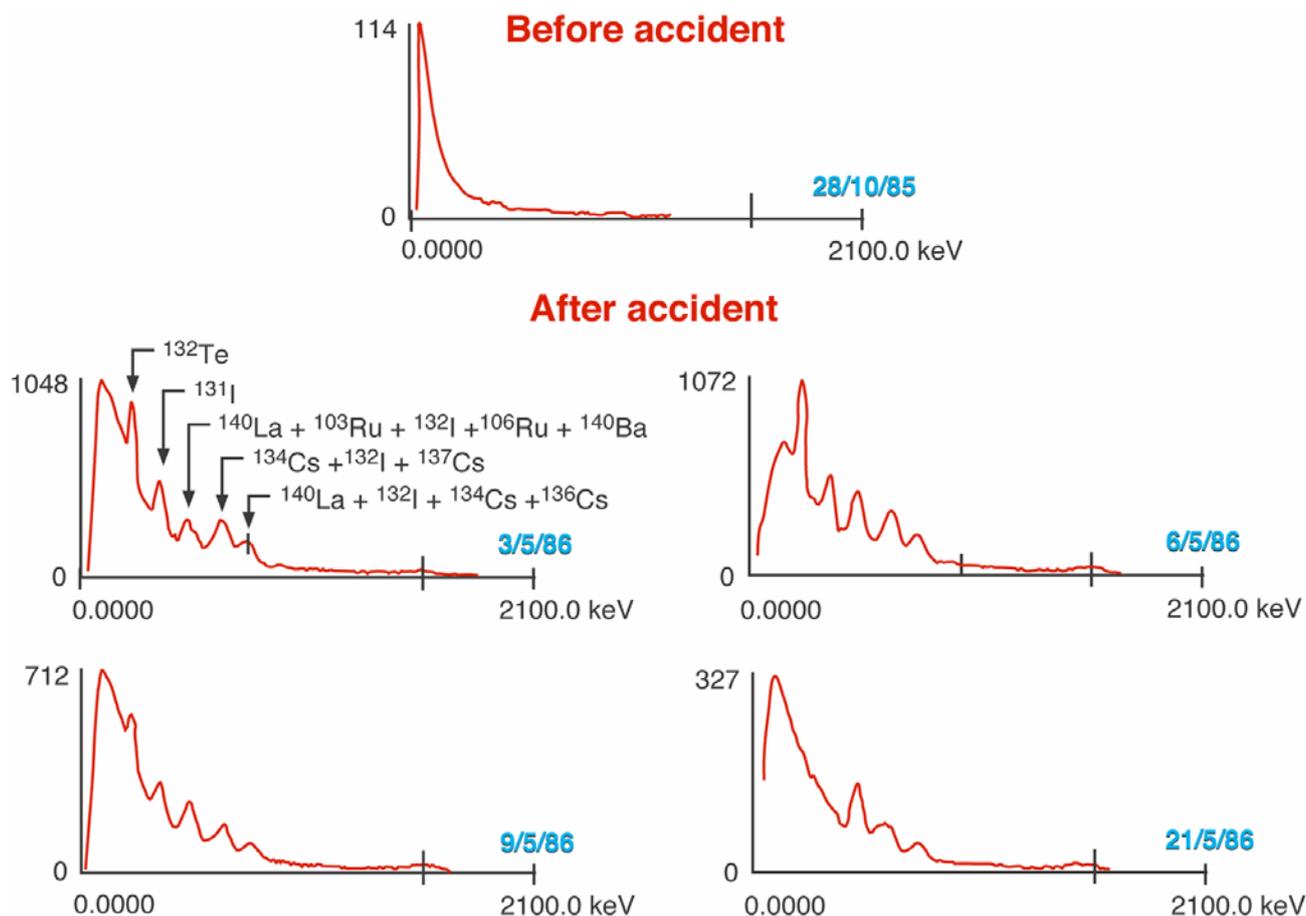


Fig.2 Spettri acquisiti in volo nelle date indicate.

All'epoca, con il sistema di monitoraggio descritto, fu portata a termine una serie di missioni, tra l'inizio di maggio e la metà di giugno, nell'Italia centro-meridionale.

Il sistema permise sin da subito la rivelazione della presenza di contaminazione diffusa, l'identificazione dei principali gruppi radioattivi presenti in aria (fig. 2) e di seguire il cambiamento nella loro composizione nel tempo, ma una valutazione quantitativa dei livelli di contaminazione si rivelò possibile soltanto nella missione del 21 di maggio.

In fig.3 è mostrato l'andamento della radioattività relativamente ai radionuclidi che contribuiscono agli ultimi due picchi degli spettri nelle quattro serie di misure relative al mese di maggio dove sono riportati i conteggi integrali dei due picchi di maggiore energia relativi alle varie località sorvolate.

Dall'osservazione dei grafici emerge chiaramente un incremento nel tempo della radioattività rivelata nelle prime due missioni a causa, probabilmente, del progressivo accumulo di particolato radioattivo sulla fusoliera dell'elicottero durante il volo. Nella missione del 9 maggio si può dedurre dalle misure effettuate la persistenza in aria di particolato radioattivo poiché le misure non scalano con la quota così come ci si aspetterebbe nel caso di contaminazione distribuita unicamente ed uniformemente al suolo.

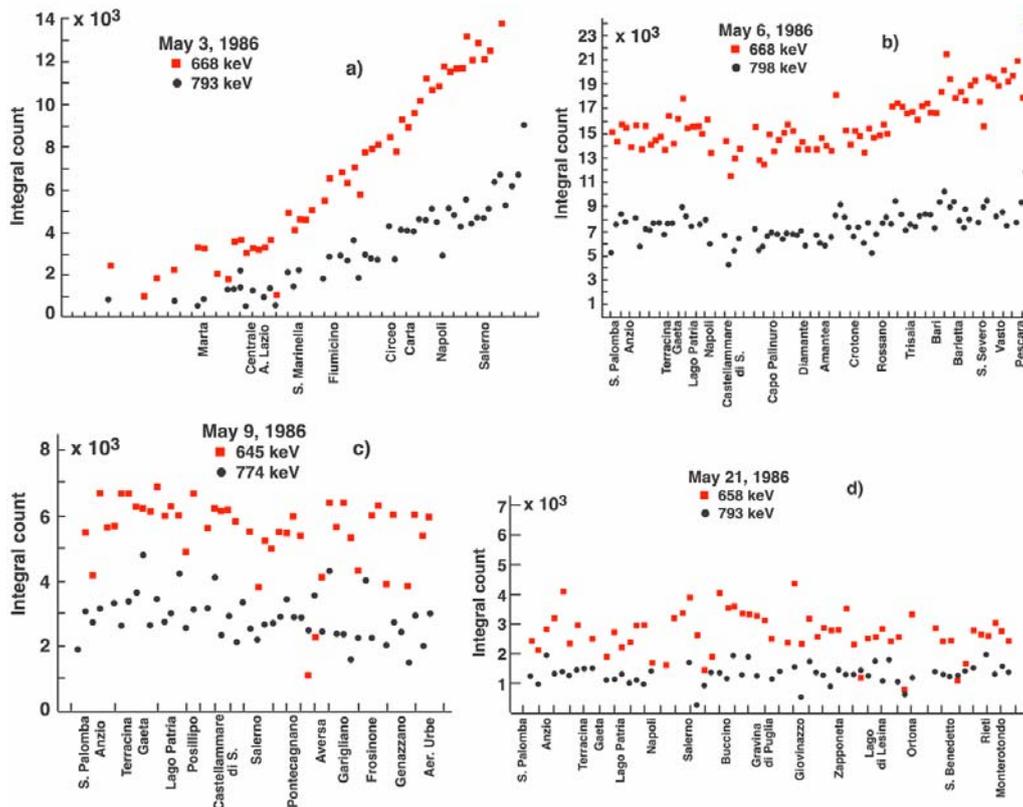


Fig.3 Conteggi relativi alle varie località sorvolate nei giorni 3, 6, 9, 21 maggio.

Soltanto il 21 maggio fu possibile effettuare misure quantitative dei livelli di contaminazione al suolo. (fig.4)

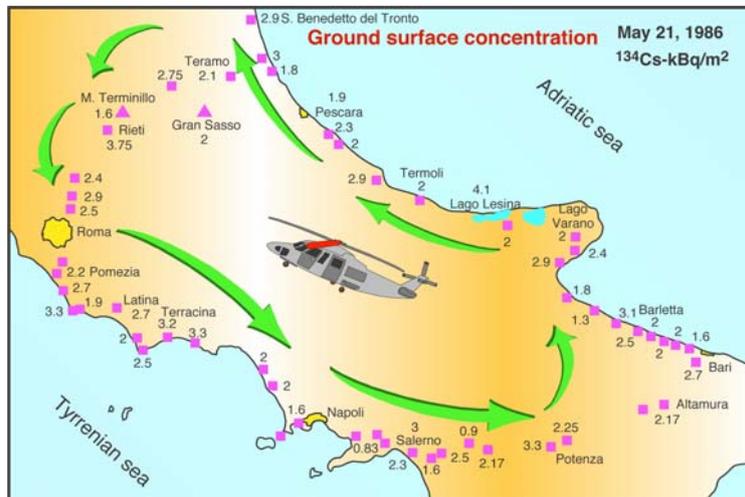


Fig.4 Valori di contaminazione al suolo espressi in kBq/m^2 relativi alle zone sorvolate il 21 maggio 1986.

2. LA LEZIONE DI CHERNOBYL

Nella nostra esperienza, è stato possibile effettuare misure quantitative della contaminazione soltanto dopo alcuni giorni dall'incidente. Infatti, una valutazione quantitativa dell'attività della sorgente o della contaminazione al suolo con il sistema in uso, attraverso l'analisi degli spettri gamma acquisiti nel corso delle sessioni di volo, si è dimostrata essere possibile soltanto nel caso in cui la sorgente avesse potuto pensarsi essere puntiforme o uniformemente distribuita al suolo. Da

queste osservazioni si è potuto dedurre, allora, che nel caso più generale, cioè, quando non si hanno informazioni sulla geometria sorgente, le misure effettuate utilizzando comuni rivelatori (del tipo NaI(Tl) o HPGE, per esempio) possono fornire esclusivamente informazioni qualitative. Ciò è in realtà quello che accade nell'immediatezza di un incidente quando una nube radioattiva sta passando sulla zona di interesse e le misure non scalano con la quota, non vi è dipendenza dal fattore di attenuazione dei gamma in aria ed è estremamente complesso se non impossibile sottrarre il contributo alle misure dovuto alla progressiva contaminazione del velivolo. Proprio in queste situazioni, invece, risulterebbe essere maggiormente necessario poter effettuare valutazioni di tipo quantitativo per mettere in atto le contromisure adeguate ed effettuare le giuste previsioni sui percorsi di propagazione della nube.

Il progetto realizzato si rivelò, quindi, efficace per la localizzazione di sorgenti puntuali e per la misura di contaminazione al suolo in assenza di contaminanti in aria e dimostrò che per fornire misure quantitative sulla contaminazione in nube ed al suolo nella prima fase dell'emergenza, cioè quando la nube radioattiva è nella fase di passaggio, bisognava approntare un apparato che potesse prelevare campioni di aria e misurare la concentrazione di radioattività direttamente in nube. In tal modo si sarebbe potuto determinare quantitativamente il valore della concentrazione in nube. Nel corso degli ultimi anni la ricerca è stata tutta tesa alla progettazione ed allo sviluppo di tali tipi di sistemi [7,8]. A tutti coloro che hanno operato nel settore in questi anni risulterà evidente lo sforzo fatto e le difficoltà superate per portare a termine l'impresa e dotare il nostro Paese di uno strumento di misura adatto, qualora si dovessero verificare incidenti transfrontalieri di particolare gravità.

3. UNITÀ DI CAMPIONAMENTO E RIVELATORI DI RADIAZIONE

Per effettuare il campionamento del particolato radioattivo e la conseguente misura della concentrazione della contaminazione in aria, il velivolo è stato dotato di una Unità di campionamento. L'Unità che prende il nome di "Sniffer" permette la raccolta del campione prelevato in nube su di un supporto di filtrazione posizionato lungo la linea di suzione del sistema, la cui apertura e chiusura sono regolate da una valvola a spillo. L'aria captata dalla sonda attraversa tutta la linea e raggiunge la linea di scarico mediante un eiettore che assicura un flusso continuo di aspirazione nonostante la progressiva ostruzione del filtro.

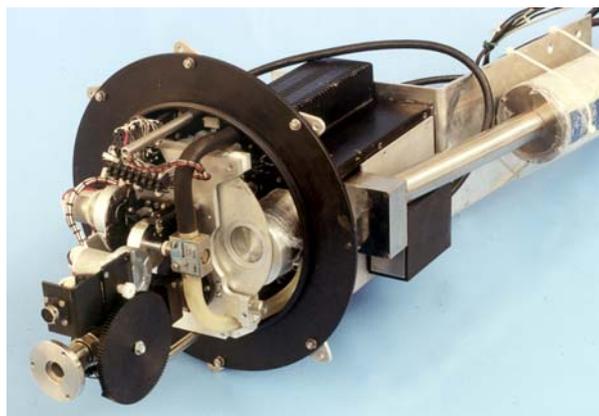


Fig.5 L'Unità di campionamento "Sniffer".

Il flusso in ingresso varia con la velocità del velivolo e può essere regolato entro un errore dell'1% approssimativamente tra i 30 ed i 70 l/min nel range operativo di velocità del velivolo che è compreso tra gli 80 km/h (~43 knots) ed i 194 km/h (~105 knots).

I dati forniti da diversi sensori di parametri ambientali (implementati nel sistema) permettono il calcolo della velocità del velivolo e del flusso campionato in tempo reale.

L'isocinetismo del campionamento (necessario perché si possa essere confidenti in merito alla significatività ed alla rappresentatività del campione raccolto sul supporto di filtrazione) viene assicurato attraverso un controllo software della valvola a spillo che garantisce che la velocità dell'aria all'ugello di ingresso della sonda sia uguale alla velocità relativa del velivolo.

A valle della linea di aspirazione è posizionato il disco portafiltri. Esso è dotato di quattro dischi in teflon di 47 mm di diametro che consentono quattro distinte raccolte di campioni nel corso della stessa missione di volo. Traguardi ottici consentono il corretto posizionamento di ciascun filtro lungo la linea di suzione del campione e la loro identificazione. La linea presenta una parte che può essere movimentata attraverso il software di gestione del sistema che permette la rotazione del disco portafiltri e, al termine di questa fase, assicura la tenuta della linea di aspirazione del sistema.

A valle del filtro ed allineato con la linea di aspirazione, un contatore Geiger (avente diametro esterno di 1 cm) ed un piccolo (1 cm³) cristallo BGO (Bismuth Germanium Oxyde) (vedi fig.6) permettono una stima dell'attività "gross-beta" e gamma totale e forniscono (il BGO) spettri gamma a bassa risoluzione.



Fig.6 Il Geiger ed il BGO lungo la linea di aspirazione del campione.

Uno spettro gamma ad alta risoluzione è, invece, acquisito da un rivelatore HPGe ("High Purity Germanium") che non è posizionato lungo la linea di suzione del campione, ma in modo tale da interfacciarsi al filtro, al termine di ogni singolo campionamento, dopo una rotazione di 90° del disco portafiltri. In tal modo, in caso ci trovi a dover fronteggiare una situazione anomala, è possibile arrivare ad identificare ciascun radionuclide presente nel campione raccolto sul supporto di filtrazione. In presenza di contaminazione diffusa, non esponendo un filtro lungo la linea di campionamento, è possibile una stima del fondo, e quindi la misura quantitativa (previa sottrazione dello stesso) della concentrazione dei radioisotopi anche quando la fusoliera può ritenersi contaminata dalla nube radioattiva che il velivolo sta attraversando. Il rivelatore HPGe è stato appositamente progettato in modo da tener conto delle particolari limitazioni imposte dalla geometria del sistema, nonché da quelle del velivolo stesso.

4. IL SISTEMA SNIFFER A BORDO DELLO SKY ARROW

Il sistema è stato pensato fin dall'inizio in modo tale che i pesi della strumentazione, le caratteristiche di alimentazione e gli ingombri potessero essere compatibili con l'uso sia su velivoli tradizionali (nelle situazioni cosiddette "far field"), sia su velivoli senza pilota (UAV) (nelle situazioni "near field").

La sonda che provvede al campionamento è stata installata a bordo in una zona dove possono essere considerate trascurabili le perturbazioni indotte dall'avanzamento dell'aeromobile in aria. Questo fa sì che nella scelta dell'aeromobile si sia ritenuto opportuno propendere per un velivolo ad ala fissa che potesse volare in condizioni di sicurezza a bassa quota ed appartenesse alla categoria di velivoli

cosiddetti STOL (“Short Take Off and Landing Aircraft”), capaci, cioè, di effettuare le operazioni di decollo ed atterraggio in poche centinaia di metri.

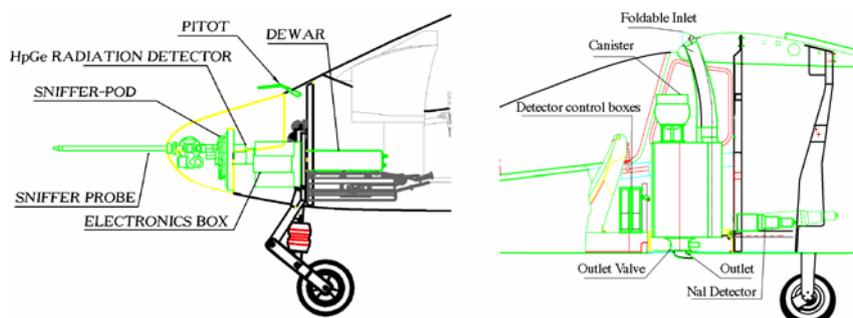


Fig.7 Installazione dello “Sniffer” nella parte anteriore e del rivelatore NaI(Tl) nella parte posteriore dello Sky Arrow.

Il velivolo scelto è stato lo Sky Arrow 650, prodotto da Iniziative Industriali di S.p.A di Roma. L’unità di campionamento con il rivelatore HPGe sono state collocate nella parte anteriore del velivolo, mentre nella parte posteriore dello stesso ha trovato alloggio un rivelatore NaI(Tl).

Il disco portafiltri può essere facilmente rimosso dal suo alloggiamento senza dover necessariamente smontare l’unità di campionamento tutta.

I filtri utilizzati nel corso di una missione possono essere analizzati in laboratorio per poter caratterizzare gli aerosol raccolti anche da un punto di vista chimico e morfologico.

Al termine della missione il particolato contaminato accumulatosi nel corso della stessa missione può essere facilmente rimosso insufflando aria all’interno della linea di campionamento. In fig.8 è mostrato lo Sky Arrow. In particolare sono visibili la sonda di prelievo del campione ed il criostato del rivelatore HPGe.



Fig.8 Lo Sky Arrow su cui è stato installato il sistema “Sniffer”.

Nella parte posteriore dell’aereo, alloggiato all’interno dell’aereo stesso ma affacciato in corrispondenza di un’apertura nella parte inferiore della fusoliera, è posto un rivelatore a NaI(Tl) di grandi dimensioni ($40 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$) del tipo usualmente utilizzato per le misure da mezzo aereo e simile a quello utilizzato per le campagne aeree del periodo post-Chernobyl.

Inoltre alla strumentazione per la rivelazione della radioattività, il sistema è dotato di antenna GPS per la localizzazione spazio-temporale dei dati acquisiti, di vari sensori di temperatura e pressione per la rilevazione dei dati ambientali e dati relativi al flusso di aria campionato oltre che di vari dispositivi per la movimentazione di parti del sistema di prelievo.

Tutta la strumentazione è gestita da due schede logiche Mesa 4C60 e Mesa 4C28 in standard PC104 e PC104 Plus. Le due schede comunicano tra loro in protocollo laplink parallelo. La scheda 4C60 funziona da master e comanda, tra l'altro, una scheda video SVGA utilizzata per visualizzare lo stato dei diversi strumenti ed apparati, la fase di esecuzione del programma di gestione ed i messaggi al pilota su uno schermo da 9" che fa parte della strumentazione del pannello di controllo del pilota (fig. 9).

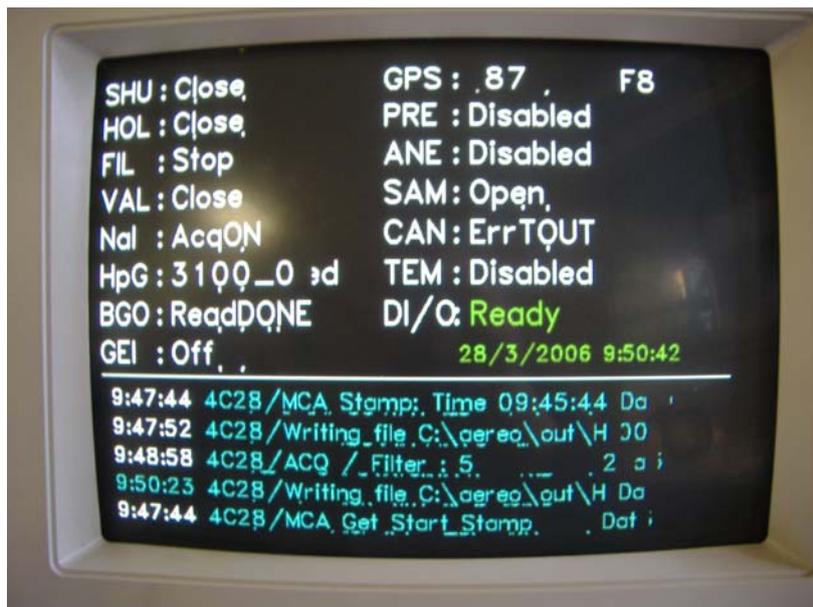


Fig.9 Lo schermo sul pannello di controllo del pilota con le indicazioni del funzionamento delle varie parti del sistema.

Una tastiera con tre pulsanti permette al pilota di fornire i comandi essenziali per lo start/stop dell'acquisizione e per il cambio filtro. La scheda 4C28 funziona da slave ed è connessa con varie schede che controllano la strumentazione.

5 STATO DEL PROGETTO E PROSPETTIVE FUTURE

Tutta la strumentazione è stata montata a bordo e si sono fatte le prove di volo necessarie per ottenere i permessi dall'ENAC che è l'autorità preposta alla sicurezza del volo in Italia. Questa configurazione dello Sky Arrow è la seconda certificata (Sky Arrow RPGN - Radioattività, Particolato, Gas Nocivi) per misure ambientali, dopo quella messa a punto dall'Università di San Diego e dalla NOAA-Air Resources Laboratori e successivamente dal CNR-IBIMET (versione Sky Arrow ERA- Environmental Research Aircraft).

Per quanto attiene gli aspetti legati alla radioattività permette la rivelazione della radioattività al suolo, per mezzo del rivelatore ad alta sensibilità di NaI(Tl) ed il campionamento in nube e misura on-line della contaminazione γ . E' l'unico mezzo esistente che permetta tali funzioni abbinate.

I voli di messa a punto della metodologia e le misure inizieranno dopo l'estate 2006 e prevedono raccolta dati per circa 10 mesi. In una sequenza di voli si testerà l'operabilità e l'adeguatezza del sistema e della strumentazione.

Nella fase attuale del progetto i dati sono immagazzinati su una flash memory e sono analizzati successivamente a terra. In una fase successiva, che potrebbe cominciare anche prima che quella

programmata e finanziata sia finita, è necessario assicurare la disponibilità dei dati immediatamente dopo l'acquisizione con la loro trasmissione a terra e l'invio attraverso la rete ad un centro operativo di elaborazione (sala controllo dell'emergenza, CEVAD). In una ulteriore fase deve essere possibile inviare i comandi al sistema operativo direttamente dal centro operativo a terra.

La quantità dei dati da trasmettere, per ora prevista, è all'interno dei limiti della banda stretta (≤ 56 kbits) e quindi non pone problemi su questa caratteristica della rete, mentre è richiesta una copertura geografica la più ampia possibile per permettere l'invio e ricevimento dei dati da un sito remoto ovunque posto.

Un altro aspetto riguarda la possibilità di installare la strumentazione su un velivolo telecomandato per permetterne l'operabilità anche in situazione di nube altamente contaminata, come è quella che si verifica in una situazione near-field. La strumentazione è stata fin dall'inizio pensata perché in termini di peso, ingombro e necessità di potenza di alimentazione elettrica sia compatibile con tale evenienza.

Aver messo a punto tale strumentazione ha richiesto un notevole sforzo e così ne richiederà la sua definitiva messa a punto operativa.

La speranza è che si trovino i modi ed i mezzi perché tale sforzo che ha dotato il Paese di uno strumento idoneo per essere di valido aiuto nella gestione di vari tipi di emergenza radiologica vada a buon fine con l'individuazione di un operatore istituzionale che possa gestire in via ordinaria tale strumento.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Commission of the European Community: Atlas of Chernobyl deposition on Europe after the Chernobyl Accident, EUR Report 16733, EC Office of Publication, Luxembourg, (1996)
- [2] Gummer, W.K., Campbell, F.R., Knight, G.B. and Ricard, J.L. Cosmos 954. The Occurrence and Nature of Recovered Debris. Atomic Energy Control Board. (INFO-0006). AECB, Canada. (1980)
- [3] Kettunen, M. and Nikkinen, M. Gammajet – Fixed-wing Gamma Survey for the Detection of Radioactive Material. Stuk-Yto-Tr 185 Report. (2002)
- [4] Bertocchi, A., Crateri, R., Frullani, S., Gaddini, M., Garibaldi, F., Giuliani, F., Gricia, M., Maselli, R., Monteleone, G., Mazzini, F., Naddeo, C., Salustest, B., Santavenere, F., Tacconi, O. and Vischetti, M.: Remote Sensing of Fission Products Famma Rays Radioactive Contamination. In: Proceedings of the Conference: Physics in Environmental and Biomedical Research. Rome, November 26-29, 1985 S. Onori & E. Tabet (Eds.) World Scientific Publisher, Singapore. pag.361-366 (1985)
- [5] OCDE-NEA. Chernobyl. Ten years on radiological and health impact. Paris. November 1996.
- [6] A. Bertocchi et al. Aerial monitoring of radioactivity. Annali dell'Istituto Superiore di Sanità vol. 23, 1987 pag.409-430 (S. Risica ed.) (in Italian).
- [7] Cisbani, E. et al. : Aerial Platform Equipped for Nuclear Emergency Measurements, in Proceedings of the 1996 International Congress on Radiation Protection (IRPA9), Vol 2 p. 696-671 (1996).
http://www.irpa.net/irpa9/cdrom/VOL.2/V2_238.PDF
- [8] Frullani, S. et al. : In-plume Sampling and On-line Measurements During Emergency Early Phase, in Proceedings of the 2004 International Congress on Radiation Protection (IRPA11) (2004).
<http://www.irpa11.com/new/pdfs/7a10.pdf>
- [9] Castelluccio, D. et al: Aerial Platform for In-Plume Sampling and On-Line Measurements in the Emergency Early Phase, in Proceedings of the International Conference on Monitoring, Assessments and Uncertainties for Nuclear and Radiological Emergency Response, Rio de Janeiro 21-15 November 2005 to be published