

**IL SOFTWARE SIDVEM-NBCR 1.0**  
**PER ESERCITAZIONI DI SOCCORSO IN CASO DI ATTI DI TERRORISMO O**  
**SABOTAGGIO**

**Bovalini, R.<sup>1</sup>, Mazzini M.<sup>1</sup> Morano, A. M.<sup>1</sup>, Mele M.<sup>2</sup>, Romano G.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> **Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Nucleare e della Produzione, Università di Pisa, via  
Diotisalvi 2, 56126, Pisa, Italia**

<sup>2</sup> **Pivot Consulting S.R.L., Polo Tecnologico Cascina, loc. Navacchio (PI), Italia**

<sup>3</sup> **Comando Provinciale VVF, Pisa**

**SOMMARIO**

Il progetto **SIDVEM-NBCR** (**SIMULATORE DIMENSIONI VARIABILI EMERGENZE NBCR**) nasce, sulla base di una richiesta del comando provinciale dei VVF di Pisa, come corredo alle esercitazioni della squadra NBCR, predisposta a fronteggiare le emergenze conseguenti a diffusione nell'ambiente e tra la popolazione di prodotti inquinanti chimici, biologici e radioattivi. Partendo dall'esperienza maturata nella messa a punto di software analoghi, il nuovo sistema integrato **SIDVEM-NBCR** contiene i modelli necessari per simulare l'esplosione di una bomba "sporca" (Dirty Bomb), con dispersione in aria di materiali radioattivi (Ra-nat<sup>1</sup>, Cs-137, Co-60, etc..) e successivo trasporto, diffusione e deposizione al suolo del contaminante. Fino a questo momento il progetto **SIDVEM-NBCR** ha visto portare a termine il software omonimo nella sua versione 1.0, ottenendo simulazioni su un territorio ad orografia piatta e a densità abitativa uniforme. Nelle versioni successive dovrebbe essere in grado di simulare la dispersione della sostanza radioattiva anche su territori ad orografia complessa, e in condizioni meteorologiche variabili (a fronte della implementazione di altri pacchetti di calcolo). Gli obiettivi fondamentali della versione 1.0 sono di simulare in maniera verosimile possibili attentati con "Bomba Sporca" utilizzando il software **SIDVEM-NBCR** per:

- > Fornire la stima delle conseguenze per la popolazione derivante da differenti scenari "Dirty Bomb", valutando la dose integrata, in un dato intervallo di simulazione, nella zona obiettivo considerata;
- > Gestire a distanza le squadre NBCR, mediante invio di brevi messaggi di testo (SMS) contenenti informazioni sull'evoluzione dell'evento;
- > Dotare il software di un database sostanze radioattive plausibilmente utilizzabili per un ordigno quale quello trattato.

In questa maniera si possono eseguire esercitazioni più ordinate e dettagliate di particolari che renderebbero più efficiente l'intervento dei nuclei NBCR, nel caso di un'emergenza reale.

**INTRODUZIONE**

Il terrorismo radioattivo è teso ad utilizzare bombe cosiddette "sporche", di fattura piuttosto rozza, composte da un detonatore, un esplosivo e un materiale altamente radioattivo, che, a seguito dell'esplosione, viene nebulizzato nell'atmosfera. L'inquinamento radioattivo che ne consegue, a seconda della quantità dispersa, può far aumentare le probabilità di contrarre il cancro, nel lungo periodo, e generare vittime da dose acuta nell'immediato. Di fatto ha un effetto devastante sotto il profilo della necessità di abbandonare, anche per tempi lunghi, i luoghi dove si è avuta l'esplosione radioattiva.

---

<sup>1</sup> Per Ra-nat si intenda, da qui in avanti, radio naturale.

I danni si riassumono nell'esposizione degli ambienti e delle persone agli effetti delle radiazioni ionizzanti del materiale disperso. Peraltro, data la diffusione della ricerca nucleare e la presenza di sostanze radioattive in una moltitudine di apparecchiature per uso civile (medico, industriale), gruppi terroristici potrebbero impadronirsene e quindi essere in grado di costruire una "Dirty Bomb".

La pericolosità di una bomba sporca risulta massima in un ambiente urbano, specie per il panico e la paralisi economica che ne può conseguire, da ascrivere alla necessità di abbandonare gli immobili e gli impianti contaminati. Inoltre, la decontaminazione è lunga, costosa e va eseguita da personale altamente specializzato. Finora non si sono verificati episodi di esplosione di bombe sporche ad opera del Terrorismo; organi di informazione qualificati hanno riportato l'individuazione, da parte di organi di polizia in alcuni Paesi, di gruppi intenti nella realizzazione di simili dispositivi. Tuttavia è da considerare sempre più necessaria la vigilanza internazionale sulla eliminazione dei rifiuti radioattivi e sul complicato intreccio tra gruppi terroristici e criminalità organizzata, per quanto attiene al mercato illegale di sostanze radioattive.

## 1: LE TEORIE DI BASE DEL PROGETTO E LORO INFORMATIZZAZIONE

Sin dalla nascita del progetto **SIDVEM-NBCR** è stato necessario far leva su solide fondamenta teoriche riguardanti la fenomenologia degli eventi implementati. Nel software SIDVEM sono, pertanto, integrati i seguenti elementi teorici:

- > Dispersione-deposizione di inquinanti atmosferici;
- > Calcolo delle dosi e radioprotezione, in accordo ai limiti in materia previsti dalla legge italiana ed europea [1].

### 1.1 Modelli informatici di dispersione atmosferica implementati

I programmi che sono richiamati dal software **SIDVEM-NBCR** durante la sua esecuzione, nella fattispecie sono:

- > Processore meteorologico, che calcola il campo cinetico (velocità e direzione del vento) sulla base delle caratteristiche di un dato territorio;
- > Programma che simula la dispersione atmosferica di gas neutrali o nubi di particolato, in base al campo cinetico calcolato dal processore meteorologico, su scala locale o regionale, essenzialmente valutando nell'ordine:
  - o Dinamica della nube (variazione della posizione e dell'ampiezza nel tempo, in base al vento e alla classe di stabilità atmosferica presenti);
  - o Concentrazione nei punti recettori;

Esso è basato su un classico modello "gaussiano" a pennacchio e/o "puff", in cui il rilascio è schematizzato come una sequenza di elementi, connessi tra loro, la cui dinamica è funzione delle condizioni meteorologiche, anche variabili nel tempo e nello spazio, che caratterizzano la traiettoria di dispersione.;

### 1.2 Procedure di calcolo delle dosi

Il calcolo del *rateo di dose*, secondo quanto previsto dalle guide ICRP e dalle FGR [2], si effettua utilizzando la relazione seguente:

$$\dot{D}_i = \alpha_i \cdot A_i \left[ \frac{mSv}{h} \right] \quad (1)$$

$$\text{dove: } i = \left. \begin{array}{l} 1 \text{ inalazione} \\ 2 \text{ irraggiamento in aria} \\ 3 \text{ irraggiamento da suolo} \end{array} \right\} A_i = \left. \begin{array}{l} R \cdot A_v \text{ attività da inalazione} \\ A_v \text{ attività da irraggiamento in aria} \\ A_s \text{ attività da irraggiamento da suolo} \end{array} \right\}$$

$\alpha_1$  coefficiente di dose efficace per inalazione  $\left[ \frac{Sv}{Bq} \right]$ ,  $\alpha_2$  coefficiente di irraggiamento in aria  $\left[ \frac{Sv \cdot m^3}{Bq \cdot s} \right]$ ,  $\alpha_3$  coefficiente di irraggiamento da suolo  $\left[ \frac{Sv \cdot m^2}{Bq \cdot s} \right]$ ,  $A_v$  attività volumetrica  $\left[ \frac{Bq}{m^3} \right]$ ,  $A_s$  attività superficiale  $\left[ \frac{Bq}{m^2} \right]$ ;  $R$  ritmo respiratorio medio giornaliero di un uomo di circa 30 anni  $\approx 22$   $[m^3/d]$ .

Nel caso in esame i coefficienti di dose efficace sono quelli riportati nelle FGR 11-12 [3], [4], come somma dei coefficienti di dose efficace riguardanti i singoli organi bersaglio<sup>2</sup>. Il calcolo della dose integrata alla popolazione si effettua utilizzando una formula del tipo:

$$D(I, J) = \Delta T \cdot \left[ \sum_k \dot{D}_{POP}(I, J, k) \right] [mSv] \quad (2)$$

dove:

$\dot{D}_{POP}(I, J, k) = \dot{D}_{irr,s} + \dot{D}_{irr,a} + \dot{D}_{in}$  : rateo di dose totale  $[mSv/s]$ ;

$I, J$ : indici di riga e di colonna della griglia orografica ( $I: 1..NY$ ;  $J: 1..NX$ );

$NX, NY$ : numero di suddivisioni orizzontali e verticali del dominio di calcolo;

$\Delta T = \frac{3600 \cdot ST}{k_{tot}}$  = intervallo temporale di calcolo<sup>3</sup>  $[s]$ ;

$k$ : numero dei time step<sup>4</sup> di calcolo;

$k_{tot} = 60$  (numero totale di time step);

$ST$ : tempo di simulazione  $[h]$ ;

In effetti la (2) restituisce la dose integrata come somma di tanti contributi<sup>5</sup> di uguale dimensione temporale, per ognuno dei quali il calcolatore aggiorna il calcolo precedente sommandogli il risultato di quello del nuovo time step.

## 2: LA STRUTTURA DEL SOFTWARE SIDVEM-NBCR 1.0.

Il software SIDVEM-NBCR consta di tre parti fondamentali, Territori, Scenari, Esercitazioni, concatenate secondo l'ordine di Figura 1.

### 2.1 Definizione del territorio.

Bisogna inserire, su richiesta del codice, i seguenti elementi, che identificano l'area in cui si ipotizza avvenire l'esplosione e le caratteristiche della sorgente postulata:

- > **File raster**: immagine (da satellite o mappa tipo IGM) del territorio oggetto di studio;
- > **File orografia**: file testuale formattato, che riporta l'altezza rispetto al livello del mare (espressa in m) di ciascuna cella che suddivide il territorio;
- > **File densità abitativa**: matrice analoga a quella del file di orografia, che riporta la popolazione media statica stimata in ciascuna cella;
- > **File georeferenziazione**: file testuale, che riporta le coordinate UTM di un punto notevole del territorio (nello specifico l'angolo in alto a sinistra).

### 2.2 Definizione dello scenario.

Bisogna inserire, su richiesta del codice, i seguenti elementi:

<sup>2</sup> Si considera la somma, anziché la media, per valutare la dose complessiva come se tutti gli organi siano esposti in ugual misura al massimo campo di radiazioni incidenti.

<sup>3</sup> È la durata del singolo time step in secondi.

<sup>4</sup> Sono gli intervalli temporali in cui il calcolatore esegue il refresh (aggiornamento) dei calcoli, time step dopo time step i calcoli vengono rieseguiti e sommati a quelli precedenti

<sup>5</sup> Il numero è fissato a  $k_{tot} = 60$  compatibilmente con i limiti imposti dal codice di dispersione.

- > **Dati della stazione Meteo:** posizione, altezza di rilevamento, velocità e direzione del vento;
- > **Dati della sorgente:** collocazione, quantità di esplosivo utilizzato, quantità e tipologia del contaminante.

### 2.3 Esecuzione della simulazione.

**SIDVEM-NBCR**, sulla base dei dati inseriti, richiama i programmi implementati al suo interno, ottenendo la stima delle seguenti grandezze fisiche, variabili nello spazio e nel tempo:

- > **Direzione e modulo della velocità del vento** in ogni cella del dominio di calcolo;
- > **Concentrazione dell'inquinante radioattivo in aria e al suolo:** calcolo effettuato sulla base del campo cinetico fornito dal processore meteo, che restituisce al centro di ogni cella del dominio la concentrazione dell'inquinante;
- > **Rateo di dose da irraggiamento e inalazione:** calcolo effettuato da **SIDVEM-NBCR** passando dalla concentrazione in massa a quella in attività (conoscendo l'attività specifica), utilizzando i coefficienti dell'FGR 11-12;
- > **Dose totale alla popolazione:** **SIDVEM-NBCR** calcola la dose totale integrando il rateo totale (irraggiamento e inalazione) in un intervallo di 60 min.

### 2.4 Esecuzione dell'esercitazione.

A simulazione avvenuta, il software trasmette alle squadre NBCR i risultati su un dispositivo portatile, nella fattispecie un telefono GPS **Garmin NavTalk**<sup>®</sup>. Esso, dotato di GPS, trasmette al PC in cui è installato il software un SMS automatico (rapporto di stato), riportante la posizione attualmente occupata dalla squadra e l'istante di invio. Il software **SIDVEM-NBCR** è in grado di restituire le grandezze fisiche di interesse (rateo di dose e dose integrata al tempo di interrogazione) nella posizione da cui è stata fatta l'interrogazione. Il dispositivo hardware di connessione tra i due terminali è costituito dal modem GSM **AvMap C-MAP**<sup>®</sup> (Figura 2).

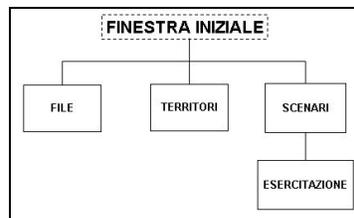


Figura 1 - Schema logico della finestra iniziale

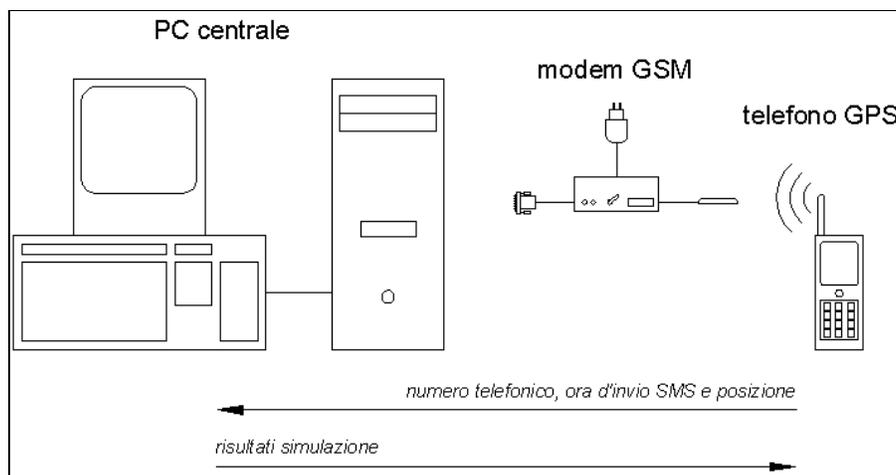


Figura 2 - Schema semplificato del sistema nel suo complesso

## 2.5 Interfaccia di visualizzazione.

Dopo aver inserito i dati richiesti dal programma, apparirà la finestra di visualizzazione (figura 3), nella quale sarà possibile scegliere e visualizzare, numericamente o in scala cromatica, gli output della simulazione di interesse (figura 4) o avviare e seguire lo sviluppo di una esercitazione nello scenario visualizzato (figura 5).



Figura 3 - Finestra di visualizzazione della simulazione

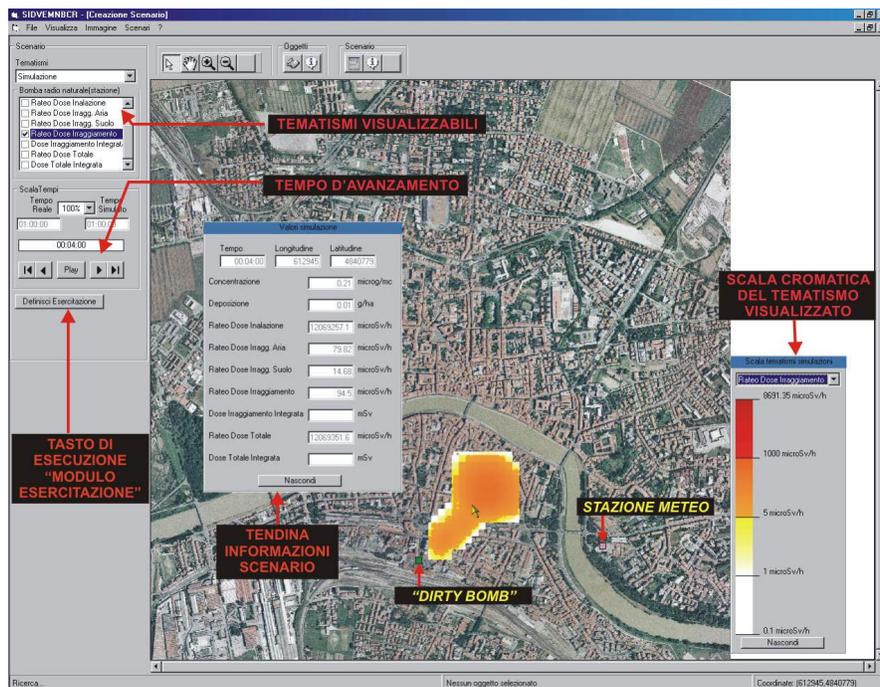


Figura 4 - Finestra di visualizzazione dei risultati

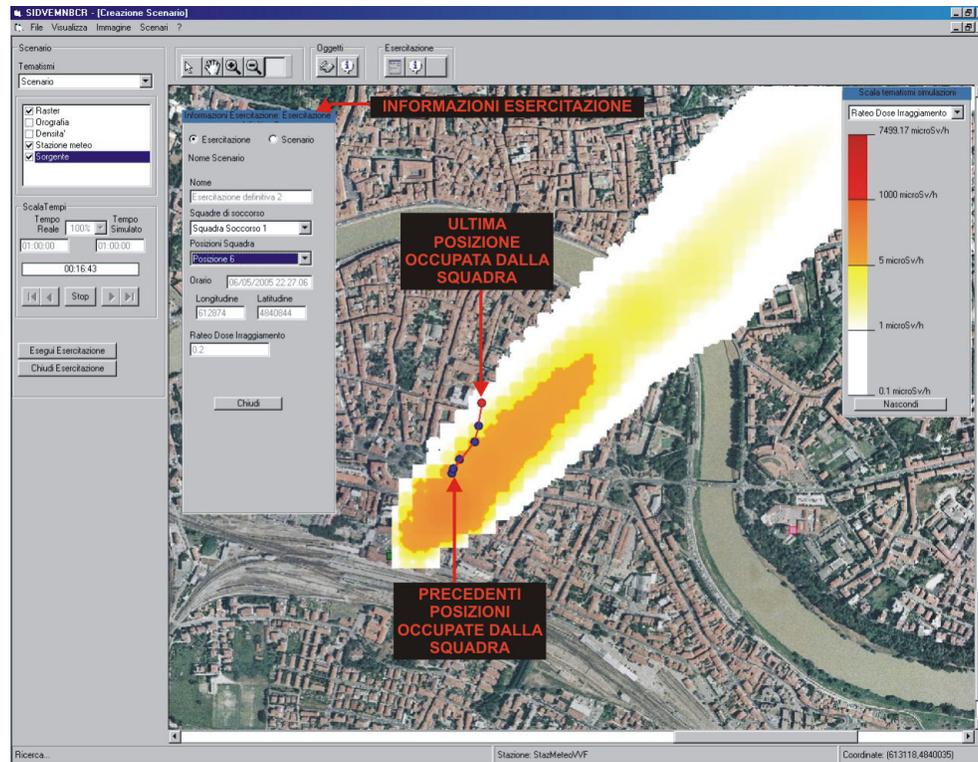


Figura 5 - Finestra di visualizzazione dell'esercitazione

### 3: PRIMA APPLICAZIONE DI SIDVEM NBCR 1.0.

Il primo test “sul campo” del software SIDVEM-NBCR è stato effettuato a Pisa il 6 maggio 2005, come supporto all'esercitazione omonima delle squadre NBCR del Comando Provinciale dei VVF di Pisa. Lo scenario ipotizzato prevede alcune ipotesi esemplificative, compatibilmente con le attuali potenzialità del software e con le intenzioni prioritarie di quella esercitazione:

1. Costituzione e collocazione della “dirty bomb”:
  - > Esplosivo: 10 kg di TNT (il quantitativo di esplosivo scelto è facilmente trasportabile, occultabile e sufficiente a proiettare i contaminanti ad un'altezza di 8-9 metri);
  - > Agente contaminante: 1 g di radio-226, pari ad un'attività di 37 GBq (dal molto lungo tempo di dimezzamento, circa 1600 anni, contenuto in preparati ramiferi, stoccati in depositi per i rifiuti ospedalieri, in cui di norma non è presente una sorveglianza severa);
  - > Collocazione: Piazzale della stazione FS della città di Pisa (luogo all'aperto, normalmente molto frequentato, specie di giorno, in cui non sono previsti controlli frequenti delle forze dell'ordine)
2. Ipotesi territoriali: l'area urbana della città di Pisa, sede della simulazione, è schematizzata come un territorio ad orografia piatta, che tiene conto della presenza degli edifici, o di altri ostacoli, attraverso un coefficiente elevato di rugosità superficiale. L'ipotesi, pur essendo esemplificativa, è l'unica adottabile qualora si voglia calcolare la dispersione in zone urbane, non potendo utilizzare codici di calcolo più raffinati, che richiederebbero enormi quantità di dati circa le dimensioni degli ostacoli coinvolti nel fenomeno, con conseguenti elevati costi sia in termini economici che computazionali.

3. Ipotesi meteorologiche: è stato scelto di esaminare la situazione corrispondente alla presenza della categoria A, con un vento che spira a 2 m/s in direzione 225°N (da SO), individuando in tale situazione una fra quelle con conseguenze peggiori, per le seguenti motivazioni: si suppone che l'attentato venga compiuto in una mattina d'estate, quando la zona della stazione FS è molto più frequentata che negli altri periodi e ore dell'anno (ci sono anche molti turisti); inoltre la classe di stabilità atmosferica A permette di essere sovrastimanti e quindi cautelativi rispetto alle altre classi diurne (B, C, D), poiché si produce una radiocontaminazione più intensa nella zona obiettivo; infine la direzione è quella prevalente in quasi tutti i mesi dell'anno.
4. Ipotesi sulla popolazione: si suppone che le persone subiscano passivamente il fenomeno, rimanendo nella stessa posizione, anche se all'aperto, sprovviste di qualsiasi tipo di protezione e, pertanto, esposte a contributi derivanti sia dall'irraggiamento che dall'inalazione. Con queste premesse verranno presentati, a seguire, i risultati circa gli effetti acuti da esposizione legati alla dose integrata calcolata sull'intera durata della simulazione, ovvero per un tempo pari ad un'ora.
5. Ipotesi sulle squadre NBCR: per esse sono stati riportati solo i risultati ottenuti sui ratei di dose, dal momento che non vale l'ipotesi di staticità. Inoltre nei calcoli è stato considerato soltanto il contributo dell'irraggiamento, dal momento che risultano provvisti di uno specifico equipaggiamento d'emergenza.
6. Limiti di dose considerati: vale quanto riportato in tabella 1.

Tabella 1. Limiti di dose di riferimento per la simulazione.

	<b>Popolazione</b>	<b>Squadre di Soccorso</b>
<b>Condiz. Normali</b> in un anno solare (ex allegato IV D.Lgs. 17 marzo 1995)	<b>1</b> [mSv]	<b>20</b> [mSv]
<b>Emergenza</b> (ex allegato VI D.Lgs. 17 marzo 1995)	<b>1</b> [mSv]	<b>100</b> [mSv] (O maggiori ex par. 4 allegato VI)

### 3.1 Risultati per le squadre NBCR.

Dopo appena 10 minuti dall'esplosione dell'ordigno, il materiale contaminante risulta completamente depositato sul terreno. I dati relativi al rateo di dose, sovrapposti all'immagine della zona interessata, sono riportati in Figura 6. I limiti di rateo visualizzati sono: 0.1  $\mu\text{Sv/h}$ , corrispondente a un decimo del fondo naturale (verde), 1  $\mu\text{Sv/h}$  (giallo) e 5  $\mu\text{Sv/h}$ , limite sul quale sono tarati i contatori Geiger in dotazione delle squadre NBCR (arancione)

I grafici di isorateo, uniti al dato del limite di dose per le squadre NBCR, possono fornire indicazioni circa i tempi massimi di permanenza nelle aree delimitate delle curve, per il singolo elemento della squadra, mediante la semplice operazione:

$$t_{\text{Limite}} = \frac{100\text{mSv}}{\dot{D}_{\text{NBCR}}} [h] \quad (3)$$

Per essere cautelativi si sceglie per  $\dot{D}_{\text{NBCR}}$  il valore massimo raggiunto dal rateo al tempo e nella zona di intervento considerati. Noto questo dato temporale, in accordo al principio ALARA, si può ottimizzare il soccorso, rispettando le seguenti condizioni operative:

1. Le squadre prestino aiuto per il maggiore tempo possibile;
2. Intervengano sull'area più grande possibile;

3. Siano esposte ad una dose inferiore quanto più è possibile a quella fissata dal limite di legge; rimangano, cioè, nella zona contaminata il minor tempo possibile.

Per rispettare contemporaneamente i punti 1 e 3 è necessario che il tempo di permanenza complessivo dato dalla (3), ridotto per quanto ragionevolmente possibile, venga ripartito tra tutti i membri del nucleo NBCR disponibili.

Riguardo alla condizione 2, noto che sia il numero dei soccorritori:

- > se l'area sulla quale intervenire è ristretta e le condizioni non sono così critiche da necessitare più persone, per prolungare gli aiuti è consigliabile che gli interventi degli operatori avvengano in serie;
- > se l'area è estesa, è preferibile un intervento in parallelo da più punti d'accesso;

Alla luce delle ipotesi fatte è possibile osservare che i tempi di permanenza nelle aree contaminate sono sufficientemente lunghi ( $\geq 200$  ore).

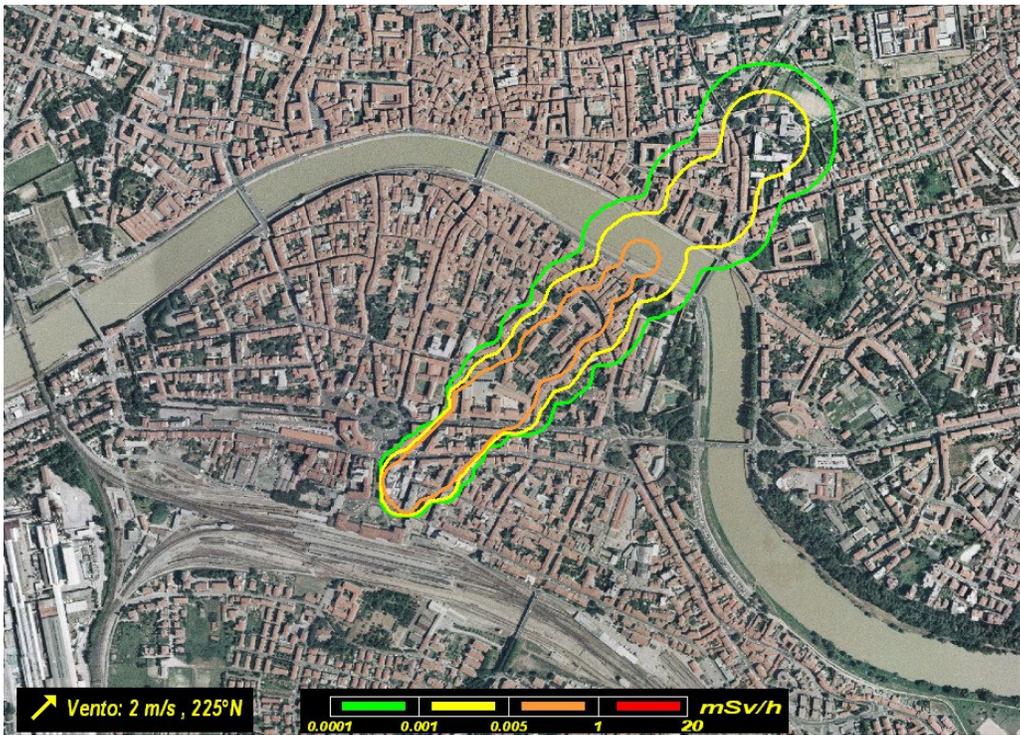


Figura 6 – Rateo di dose per le squadre NBCR dopo 10 minuti dall'inizio della simulazione

### 3.2 Risultati per la popolazione.

In Figura 7 sono riportati i risultati della simulazione per la popolazione, in termini di esposizione acuta al contaminante radioattivo. Va subito fatto notare che il maggior contributo alla dose è da attribuirsi all'inalazione del particolato radioattivo, nei primi minuti dopo l'esplosione della bomba, e che l'area maggiormente colpita è quella nelle immediate vicinanze della sorgente, in direzione sottovento. È da precisare, inoltre, che, pur avendo a disposizione i dati sulla densità di popolazione, è sembrato corretto non indicare il numero delle vittime ipotizzabili, dato che non si conosce a priori quante persone possano essere realmente coinvolte dall'attentato. Si è preferito indicare solo la dose alla quale gli individui sarebbero esposti qualora fossero completamente investiti dal fenomeno e gli effetti acuti significativi che si manifesterebbero in questa circostanza. In questa maniera i dati ottenuti non solo generano meno allarmismo, ma al tempo stesso sono più che indicativi per le squadre NBCR, dal momento che permettono di pianificare l'intervento con uno o più mezzi di soccorso a seconda dell'entità del fenomeno e dell'estensione dell'area di maggior rischio.

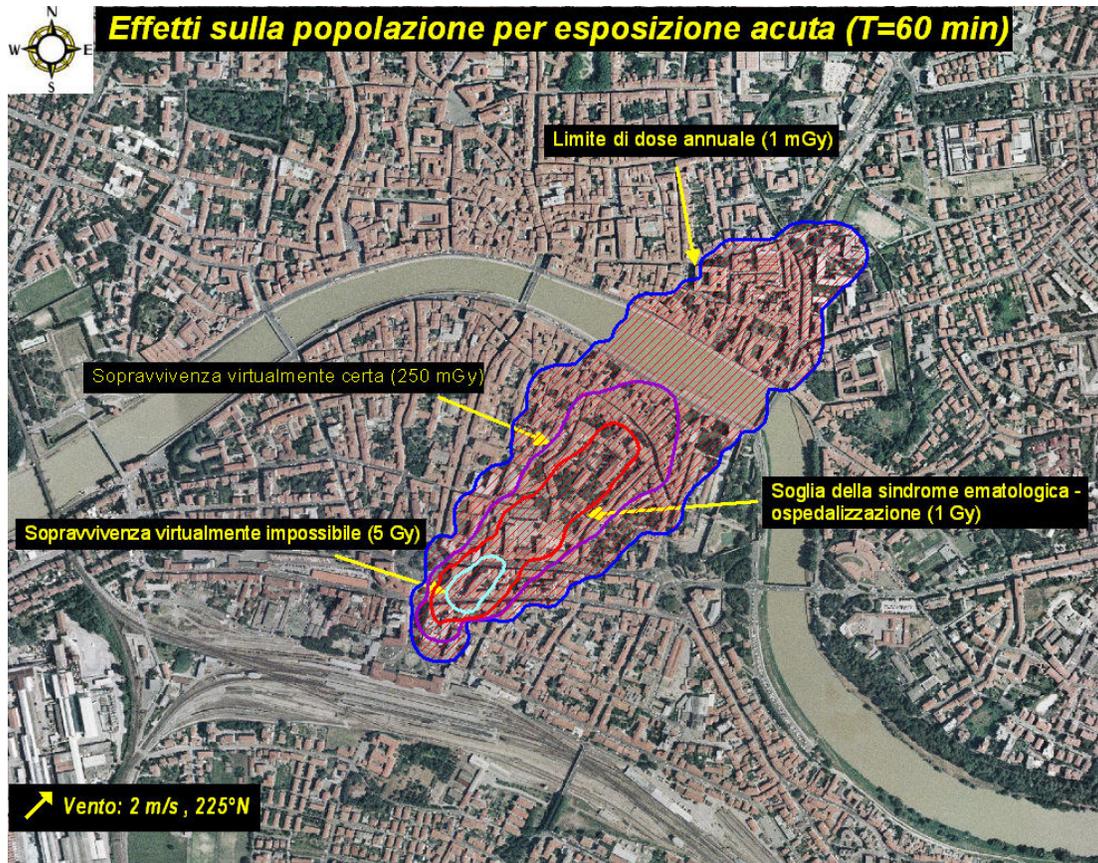


Figura 7 – Dose integrata per la popolazione dopo 60 minuti dall’inizio della simulazione ed effetti acuti corrispondenti.

## CONCLUSIONI

I risultati ottenuti, alla luce delle ipotesi di lavoro fatte e dei modelli di calcolo implementati nel software, sembrano confermare l’attendibilità dei risultati del codice **SIDVEM-NBCR** e, in attesa di poter essere verificati, se e quando sarà disponibile un’idonea attrezzatura sperimentale o comunque una base di dati sperimentali (al momento inesistente data l’entità e le dimensioni del fenomeno), sono sicuramente utili alle squadre NBCR quali scenari da utilizzare nelle proprie esercitazioni.

Il software **SIDVEM** non è solo un modello di calcolo, ma un vero e proprio “trainer” delle squadre NBCR. La loro gestione risulta infatti più efficiente poiché:

- > Il dialogo tra simulatore e telefono GPS sostituisce a tutti gli effetti un contatore Geiger, dal momento che l’esercitazione avviene in uno scenario non reale;
- > I risultati sugli effetti alla popolazione esposta permettono una valutazione rapida dell’entità del fenomeno (tramite la visualizzazione degli effetti delle dosi impegnate), consentendo alle squadre di soccorso di individuare dove e in che maniera intervenire, o quanto meno di allenarsi a come intervenire;

La comodità di disporre di questo strumento consiste nel permettere alle squadre di comportarsi e di agire nello stesso modo che in un caso reale, esercitandosi ad affrontare tutte le operazioni loro richieste (delimitazione delle aree a maggiore pericolosità, coordinamento con gli altri attori preposti alla difesa e al soccorso alla popolazione).

In caso di incidente, infatti, è fondamentale il controllo del flusso dei soccorritori, l’adozione di un sistema di comando adeguato, possibilmente unificato, l’attivazione di una comunicazione idonea a coordinare tutte le operazioni di soccorso sanitario e di polizia.

Come realmente accaduto nell'unica esercitazione NBCR tenutasi a Pisa il 06/05/2005, avendo a disposizione dei dati inviati dal simulatore SIDVEM-NBCR, l'efficienza delle squadre di soccorso è migliorata: gli addetti sono stati guidati per la prima volta nell'operazione di delimitazione delle aree, cosa prima impossibile dal momento che non si poteva disporre di dati di riferimento circa la dimensione della zona da circoscrivere, e le operazioni di soccorso sono state velocizzate, esponendo quindi a minor rischio sia la popolazione che i membri delle squadre stesse.

Pertanto, con l'obiettivo di arrivare ad un sistema integrato di gestione dei piani d'emergenza di attentati con "Dirty Bomb", il software **SIDVEM-NBCR** si presta sicuramente quale punto di partenza, non solo per la continuazione del progetto, ma anche ad una estensione dello stesso in un ambito di natura non terroristica, attraverso un arricchimento del database sostanze fino ad oggi implementato ed aggiunta di algoritmi di calcolo più raffinati, in modo da avere a disposizione una rosa di eventi ancora più attendibili, sui quali poter elaborare la più corretta strategia d'intervento.

Altro possibile futuro accorgimento potrebbe essere quello di dotare la comunicazione via SMS, tra centrale operativa e squadre, di una rete preferenziale, con accordi presi con uno dei diversi gestori di telefonia, in modo da essere sicuri di non trovare nessun intralcio lungo quel canale, dal momento che in un caso reale la rete sarebbe quasi sicuramente congestionata.

## **RIFERIMENTI**

1. Ex D.Lgs. 17 marzo 1995 n°230 , D.Lgs 26 maggio 2000 n°241(attuazione delle direttive EURATOM).
2. K. F. Eckerman and J. C. Ryman. External Exposure to Radionuclides in Air, Water, and Soil, 1993 (EPA-402-R-93-081)
3. <http://www.ornl.gov/~wlj/fgr11tab.htm>
4. <http://www.ornl.gov/~wlj/fgr12tab.htm>