

ARIPAR-GIS V.3.
LA NUOVA VERSIONE DEL PROGRAMMA ARIPAR
PER L'ANALISI DEL RISCHIO D'AREA

S. Contini*, F. Bellezza*, M. Binda^o, G. Uguccioni[§], G. Spadoni⁺

*European Commission –Joint Research Centre – ISPC - Ispra (VA), Italy

^o THS Informatica, 21020 Besozzo (VA), Italy

[§] Snamprogetti S.p.A - HSEQ - San Donato Milanese (MI), Italy – Attualmente presso D'Appolonia SpA - Milano

⁺ Università di Bologna – DICMA – viale Risorgimento, 2 – Bologna, Italy

SOMMARIO

La concentrazione di molte attività industriali in aree geografiche abbastanza ristrette pone alle autorità pubbliche problemi di pianificazione territoriale, controllo del rischio e pianificazione delle emergenze. I processi decisionali conseguenti richiedono l'analisi e la gestione di un vasto insieme di informazioni relative alle sorgenti di rischio, alla modellazione degli scenari incidentali, alla distribuzione di popolazione nell'area di impatto,... e l'elaborazione di esse richiede necessariamente il supporto di strumenti informatici. Risponde a queste esigenze il software ARIPAR-GIS v.3.0 che, adottando una metodologia probabilistica, permette di valutare i rischi di aree industriali complesse, in cui siano presenti impianti, depositi e sistemi di trasporti, calcolando numerose misure di rischio. L'articolo, dopo aver richiamato sinteticamente la metodologia di lavoro, illustra le principali potenzialità del software.

1. INTRODUZIONE

Autorità pubbliche e Società private adottano l'Analisi di Rischio di Area (Quantitative Area Risk Analysis: QARA) per analizzare i rischi di incidente rilevante connessi con siti industriali e per pianificare interventi sulla base dei valori assunti delle misure di rischio. Si citano in merito i miglioramenti della sicurezza degli impianti attraverso la identificazione di misure di prevenzione e protezione, la più opportuna pianificazione territoriale mediante valutazione della localizzazione 'sicura' di insediamenti residenziali o di nuovi impianti industriali, la pianificazione delle emergenze, la individuazione di strategie per la salvaguardia della popolazione, dell'ambiente e delle proprietà in caso di incidente.

Questo approccio metodologico è stato recentemente confermato e ufficializzato dalla direttiva comunitaria 96/82/EC, che all'articolo 12 prevede l'analisi d'area quale base per la definizione di corrette politiche di pianificazione territoriale (Land Use Planning, LUP).

Una sintetica storia degli studi di rischio di area deve rammentare innanzitutto gli studi di Canvey e Rijnmond [1,2] che hanno rappresentato il primo tentativo di valutare il rischio di più stabilimenti; successivamente occorre menzionare il progetto italiano ARIPAR [3] che, oltre ad essere stato il primo studio nel quale tra le sorgenti di rischio sono stati inclusi sia gli impianti sia tutti i sistemi di trasporto (rete stradale e ferroviaria, condotte e trasporto navale), è stato prodotto esplicitamente quale supporto allo sviluppo di politiche di programmazione territoriale [4]. Un importante risultato del progetto, oltre alla produzione di una mappatura del rischio che allora e oggi è di supporto alle autorità locali nell'assumere decisioni in tema di programmazione territoriale [5], è stata la predisposizione di un programma di calcolo utile ad effettuare, con una procedura rapida ed accurata, la grande mole di calcoli che accompagna le analisi di rischio. Il programma, che da allora è stato sottoposto a numerose modifiche e miglioramenti [6], è stato utilizzato in numerose QARA e in analisi di rischio di impianti e sistemi di trasporto.

L'Istituto per la Protezione e la Sicurezza dei Cittadini (IPSC, già ISIS) del Centro Comune di Ricerca comunitario di Ispra (VA), nell'ambito del progetto 26 PECO "Management of technological and natural disasters in Central and Eastern European countries" (progetto finalizzato alla creazione di sistemi informativi nazionali e regionali di supporto alle Autorità nella gestione delle emergenze), si è trovato nella necessità di distribuire ai Paesi partecipanti al progetto (Bulgaria, Repubblica Ceca, Estonia, Ungheria, Lettonia, Lituania, Polonia, Romania, Slovacchia e Slovenia) il sistema ARIPAR con un'interfaccia in lingua inglese.

La necessità di predisporre una versione in inglese di ARIPAR ha offerto l'opportunità di aggiungere ulteriori funzionalità al prodotto. Tra queste si citano:

- La georeferenziazione e la scalatura di mappe raster;

- Il collegamento di documenti di qualunque tipo alle mappe;
- La possibilità di collegare una immagine/vista a qualunque oggetto di un tematismo;
- Un metodo più veloce e semplice per descrivere la distribuzione di popolazione;
- Alcuni moduli per poter rappresentare le isolinee a rischio costante senza utilizzare necessariamente il modulo 'Spatial Analyst' di ESRI utilizzato nella versione precedente del programma;
- Un nuovo modulo per la graficazione di curve F-N e istogrammi;
- La visualizzazione dei dati del Database ARIPAR-DB da ARIPAR-GIS;

che forniscono opzioni di flessibilità e fruibilità di indubbio aiuto nello svolgimento di un'analisi di rischio d'area; dal punto di vista metodologico si segnala inoltre l'introduzione della possibilità di valutare scenari di VCE con localizzazioni di innesco distanti dal punto di rilascio.

La memoria descrive brevemente questi miglioramenti attraverso immagini esemplificative. Si citano inoltre alcuni sviluppi futuri pianificati per integrare gli strumenti GIS e DB ed ottenere un sistema ancora più potente e di uso semplice ed immediato per l'utente.

2. LA METODOLOGIA ARIPAR

La metodologia ARIPAR non è altro che l'insieme di procedure finalizzate alla valutazione, in termini quantitativi, del rischio collegato alla produzione, stoccaggio e trasporto di sostanze pericolose in aree industriali. La procedura di calcolo del rischio si sviluppa attraverso la valutazione, per tutte le sorgenti di rischio, della frequenza di accadimento di ogni incidente ipotizzato, della probabilità di ogni singolo scenario da esso risultante e dalla magnitudo degli effetti causati da tali scenari.

Delle misure di rischio, calcolate attraverso le suddette componenti e ben note alla comunità tecnico-scientifica che effettua analisi di rischio di impianti, si richiamano sinteticamente nel seguito le definizioni [3] precisandone le caratteristiche di rappresentazione nel codice.

Rischio Locale: la frequenza attesa del danno di riferimento (morte dell'individuo) per effetto di un qualsiasi incidente, per un individuo che occupa permanentemente (24 ore al giorno per l'intero anno) un dato punto dell'area, senza possibilità di fuga o riparo. Si tratta di un valore utile per caratterizzare il rischio in un dato punto. In ARIPAR il rischio locale è rappresentato da isolinee di rischio sulla mappa dell'area e da un istogramma che mostra, per un dato punto (x, y), il valore di rischio e il contributo delle diverse sorgenti.

Rischio Individuale: la definizione è simile alla precedente, tranne che nella valutazione della probabilità del danno di riferimento si considerano il tempo medio di esposizione dell'individuo in relazione alle sue caratteristiche (residente, studente, lavoratore,...), e la protezione data dalla possibilità di trovarsi all'interno di un edificio. E' un valore utile per la caratterizzazione del rischio di un sito in relazione al suo effettivo utilizzo. Per questa ragione lo si calcola anche per luoghi di particolare vulnerabilità (ad es. scuole, ospedali, centri commerciali...) poiché caratterizzati da una significativa concentrazione di popolazione.

Il Rischio Sociale considera il numero di persone che possono subire il danno per effetto degli incidenti nell'area. Una curva F-N è un grafico della frequenza cumulata dall'alto (F) degli incidenti originatisi da tutte le sorgenti in grado di causare la morte di un numero di persone uguale o superiore a N. La curva F-N è utile per caratterizzare le conseguenze sociali di un possibile incidente. Per sua definizione la frequenza F non può che diminuire al crescere di N. Un'altra utile rappresentazione del rischio sociale è data dagli istogrammi I-N, che rappresentano il numero N di persone esposte ad un rischio individuale I.

La procedura tipica di una QARA si sviluppa attraverso i quattro passi principali schematicamente rappresentati in figura 1 e assai brevemente richiamati nel seguito a fine puramente riassuntivo. Per un'analisi di dettaglio della intera metodologia si veda [7].

A. Descrizione dell'area geografica di interesse

Il primo passo della analisi è la definizione della 'area sorgente' (area dove si collocano le sorgenti di rischio) e dell' 'area di impatto' (area nella quale si calcola il rischio). L'area di impatto è descritta dai suoi dati territoriali (ad es. densità di popolazione, centri di vulnerabilità, reti di trasporto, condizioni meteorologiche).

B. Identificazione e inventario delle sorgenti di rischio

Impianti di processo, depositi e reti di trasporto di sostanze pericolose definiscono le sorgenti di rischio che esistono nell'area dove sono presenti residenti, lavoratori ed altre categorie di popolazione (es. turisti...) che possono di conseguenza essere soggetti alle conseguenze di possibili incidenti. Al fine di ottenere una fotografia di dettaglio della realtà impiantistica si raccolgono dati sulle sostanze in deposito, lavorazione e trasporto; la conoscenza approfondita dei flussi e dei percorsi sull'area oltre a completare l'inventario delle sostanze fornisce un ingresso fondamentale per la valutazione statistica delle frequenze incidentali.

C. Analisi (off-line) degli scenari incidentali

Questa fase include la identificazione e valutazione degli scenari incidentali possibili (dispersione di gas, incendi e esplosioni, loro probabilità e conseguenze) per ogni impianto e per ogni tipo di trasporto. Nel caso

degli impianti la loro identificazione e valutazione deriva dai rapporti di sicurezza (se già validati da organismi di controllo), mentre per i trasporti occorre in genere predisporre un'analisi ad hoc.

La simulazione delle conseguenze degli incidenti deve essere effettuata al di fuori del programma ARIPAR con i modelli scelti dell'utente. Questa è in genere la fase più "time consuming" dell'analisi anche se l'attuale versione del software ne facilita l'esecuzione.

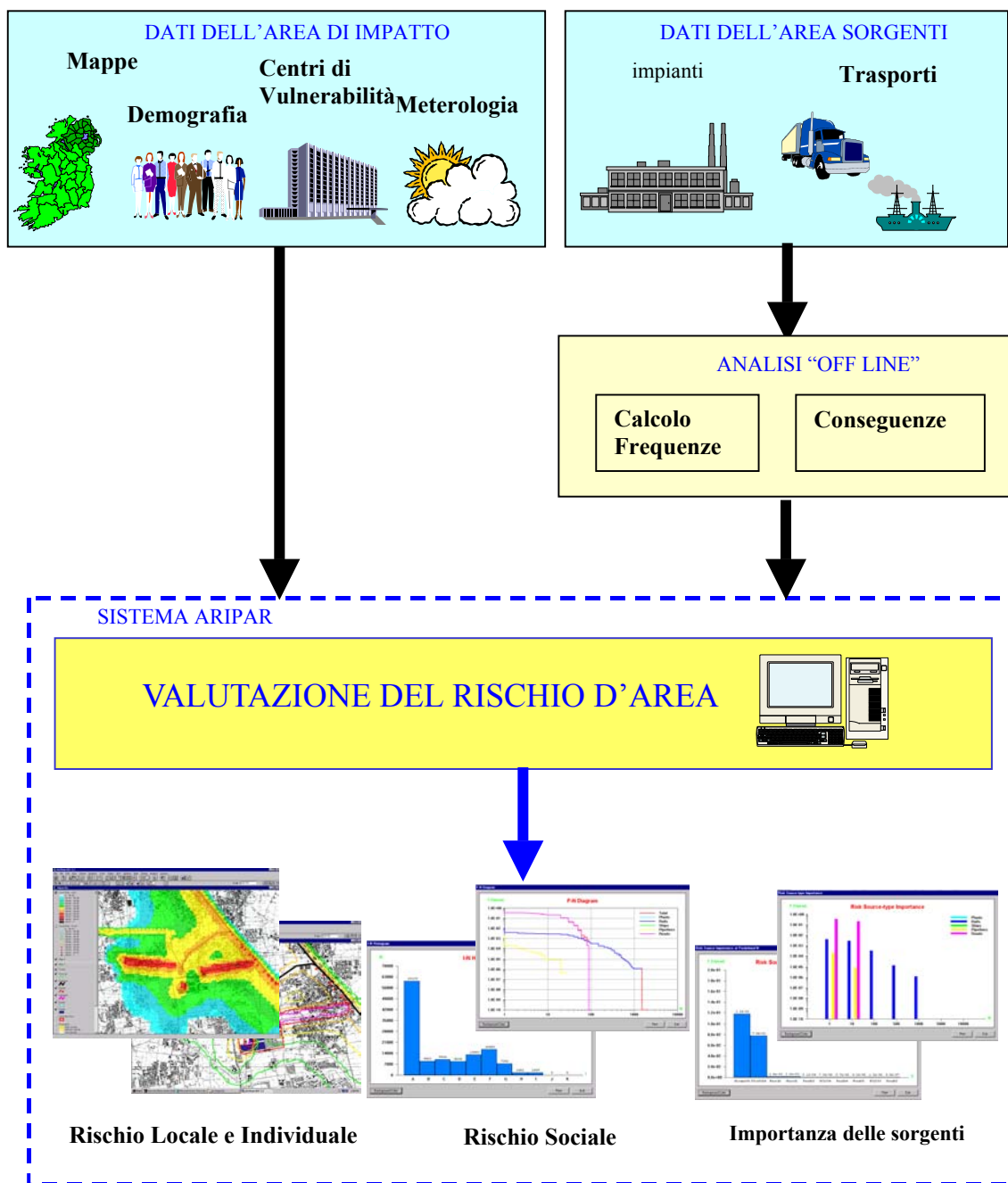


Figura 1. Diagramma schematico dell'Analisi di Rischio di Area utilizzando ARIPAR

D. Valutazione del rischio di area

Le misure di rischio locale, individuale e sociale sopra menzionate sono utilizzate come indicatori del rischio d'area risultante dalle sorgenti di rischio sia puntuali (impianti) che lineari (trasporti). La metodologia ARIPAR utilizza un'ottima procedura numerica che supera le difficoltà di calcolo derivanti da:

- distribuzione non simmetrica del rischio locale e individuale attorno alle sorgenti, dovuta agli scenari dipendenti dalla direzione del vento;
- necessità di gestire un grande numero di scenari incidentali;

- presenza di sorgenti lineari, rappresentanti gli incidenti dovuti a veicoli (camion, treni, navi) o flussi di materia (condotte) in movimento che devono essere schematizzati da numerose sorgenti puntiformi (segmenti di lunghezza prefissata).

I valori del rischio locale e individuale sono calcolati nei centri delle celle di una griglia non regolare sovrapposta all'area di impatto e negli stessi punti è raggruppata la popolazione relativa alla cella per il calcolo del rischio sociale. Ne segue la necessità di provvedere ad una scelta accurata della dimensione delle celle che possa assicurare un buon compromesso tra accuratezza dei risultati e tempo di calcolo.

Ad una riduzione del tempo di calcolo è funzionale anche l'utilizzo di funzioni di interpolazione per modellare le conseguenze di incidente. I risultati di ogni singolo scenario incidentale, disponibili su un numero discreto di punti come risultato delle simulazioni numeriche effettuate 'off-line', sono sostituiti da funzioni continue rappresentanti la distribuzione spaziale e/o temporale delle concentrazioni, sovrappressioni e radiazione termica.

Parte del sistema rappresentato schematicamente in Figura 1 è stato implementato nel 1998 utilizzando ArcView 3.0, il sistema GIS (Geographical Information System) della ESRI. La sintesi già effettuata rende facile comprendere perché nel prototipo iniziale sia stato inserito un sistema GIS, che per sua natura permette di catturare, memorizzare, recuperare, manipolare, analizzare e visualizzare dati distribuiti, cioè caratterizzati da una collocazione sulla superficie terrestre. I dati spaziali sono rappresentati mediante mappe, ovvero una raccolta bidimensionale di oggetti grafici caratterizzati da coordinate x-y [8]. I numerosi dati usati in una QARA e caratterizzati da una distribuzione spaziale sono elencati in tabella 1 [9].

Fase	Dati georeferenziati	Risultati georeferenziati
Hazard Identification	Layout di impianto	Localizzazione incidenti
Analisi frequenze di incidente		
Analisi delle conseguenze	Layout di impianto Reti stradali, ferroviarie e condotte. Porti. Localizzazione incidenti Mappa dell'area	Aree di danno Localizzazione incidenti
Risk Assessment	Layout di impianto Reti stradali, ferroviarie e condotte. Porti. Mappa dell'area Uso del suolo e distribuzione di popolazione Centri di vulnerabilità	Aree di danno Localizzazione incidenti Rischio locale per punti Curve isorischio locale Curve isorischio individuale
Risk Management	Rischio locale per punti Curve isorischio locale Curve isorischio individuale Mappa dell'area Layout di impianto Reti stradali, ferroviarie e condotte. Porti.	Risk zoning Land-use zoning Percorsi ottimali dei trasporti

Tabella 1. Principali dati e risultati georeferenziati in un'analisi di rischio industriale

I dati spaziali possono essere rappresentati in un GIS nei formati *vettoriale* o *raster*. I tipi fondamentali di entità del formato vettoriale sono punti, linee e poligoni. Queste tre entità sono utilizzate per rappresentare oggetti reali; ad esempio in un impianto industriale i punti possono rappresentare ingressi e punti di emissione, le linee possono rappresentare tubazioni, strade, linee elettriche..., i poligoni rappresentano confini e unità di impianto, edifici, serbatoi etc. I dati raster registrano dati spaziali in una struttura di dati a matrice nella quale la più piccola unità logica è rappresentata da un pixel. Il formato raster è tipicamente utilizzato per mappe, foto digitali e immagini satellitari.

Indipendentemente dal formato utilizzato, un insieme di oggetti grafici dello stesso tipo, cioè caratterizzati dagli stessi attributi, rappresenta una *mappa tematica*, indicata anche come 'tematismo' o 'layer'; esempi di mappe tematiche utilizzate nella QARA sono le reti stradali, la localizzazione degli incidenti, le aree di danno, i contorni di rischio. Senza entrare in ulteriori dettagli, utili per i soli addetti, si desidera sottolineare che l'analisi dei dati spaziali è fondamentale nel processo decisionale poiché consente di ottenere

in maniera semplice ed immediata, mediante operazioni di sovrapposizione ed algebra delle mappe, l'accorpamento di informazioni distribuite.

3. IL SISTEMA ARIPAR

La versione attuale di ARIPAR (che gira su PC in ambiente Windows e richiede il sistema GIS ESRI ArcView versione 3.2) è composta da due moduli:

- 1) ARIPAR-GIS per la gestione dei dati spaziali e per la visualizzazione dei risultati;
- 2) ARIPAR-DB, per la gestione dei dati non spaziali e per il calcolo del rischio.

La analisi quantitativa di rischio di area consta di quattro fasi:

- 1) Inserimento di un primo insieme di dati alfanumerici;
- 2) Inserimento dei dati spaziali;
- 3) Inserimento dei dati alfanumerici e valutazione del rischio di area per tutte le sorgenti;
- 4) Calcolo del rischio di area per tutte le sorgenti o per una selezione di esse e rappresentazione dei risultati.

Le fasi 1 e 3 sono eseguite dal modulo ARIPAR-DB, mentre le altre sono compito di ARIPAR-GIS, come rappresentato schematicamente nella figura 2 di pagina seguente.

3.1 Fase 1: inserimento dei dati alfanumerici (non georeferenziati)

E' innanzitutto necessario inserire, attraverso il modulo ARIPAR-DB, alcuni dati generali di configurazione e i modelli di Vulnerabilità desiderati per le sostanze e i fenomeni di interesse (figura 3).

I dati di configurazione riguardano:

- la definizione delle categorie di popolazione e le probabilità di presenza associate; ARIPAR prevede 11 categorie predefinite (residenti, lavoratori, studenti etc.);
- la definizione delle aggregazioni utilizzate per i dati meteorologici (classe di Pasquill/Velocità del vento) e la descrizione dei dati meteorologici;
- i tempi di esposizione;
- i parametri di mitigazione per tener conto della possibilità di presenza indoor degli individui;
- la probabilità di accadimento dell'incidente durante il giorno o nelle diverse stagioni;
- i parametri per il calcolo automatico della frequenza di incidente nei trasporti stradali.

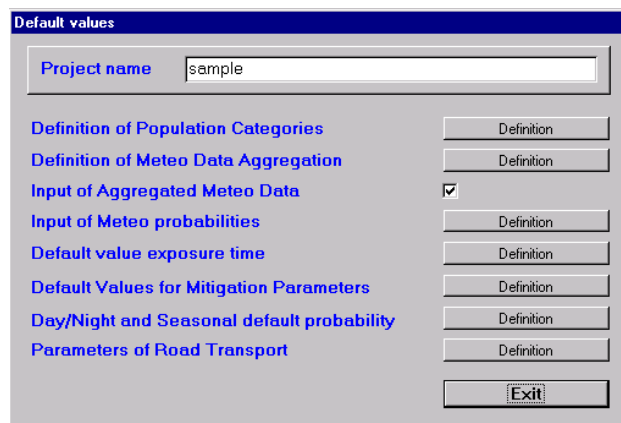


Figura 3. Inserimento dati non georeferenziati

Il calcolo del rischio richiede la definizione dei modelli da utilizzare per calcolare la vulnerabilità della popolazione. ARIPAR consente all'analista di applicare modelli di vulnerabilità per irraggiamento termico, esplosione e tossicità per 98 diverse sostanze pericolose. Questi modelli possono essere espressi come equazioni di probit o soglie di danno.

3.2 Fase 2: descrizione dei dati spaziali (georeferenziati)

La cartografia di base dell'area di impatto può essere disponibile in forma digitale, georeferenziata o no, o più comunemente su carta. In quest'ultimo caso essa deve essere importata da scanner e orientata in modo che il Nord sia orientato verso la parte alta dello schermo.

Quindi, per misurare correttamente le distanze, la mappa deve essere georeferenziata utilizzando due punti di Controllo (Ground Control Points, GCP) di coordinate note presi ad esempio da immagini satellitari, da GPS o da carte IGM. Se i GCP non sono noti, la mappa può essere scalata considerando un sistema di coordinate locali con origine nell'angolo inferiore sinistro.

La mappa raster dell'area (figura 4) è utilizzata come sfondo per la generazione di tutte le mappe tematiche rappresentanti impianti, trasporti, localizzazione degli incidenti, distribuzione della popolazione, popolazione concentrata nei Centri di Vulnerabilità.

Ogni tematismo è composto da diversi oggetti grafici; ogni oggetto è descritto per mezzo di attributi (dati di censimento) memorizzati nel database associato al tema.

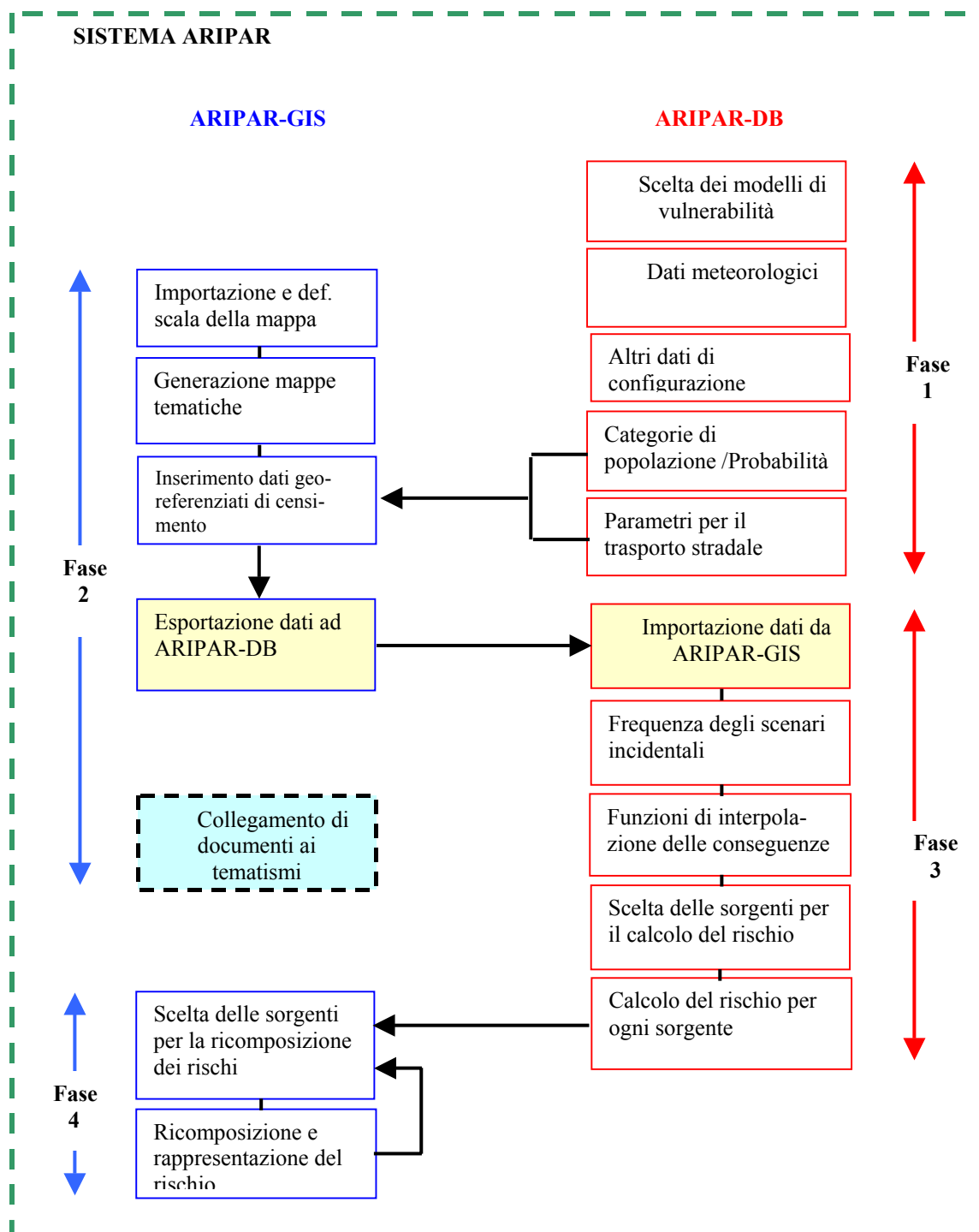


Figura 2 fasi principali della procedura di analisi di rischio con il sistema ARIPAR

I dati possono essere integrati da qualsiasi tipo di documento che può essere collegato all'oggetto. Disegni, fotografie, documenti (ad es. doc, ppt, pdf, xls, tif, bmp, jpg), immagini satellitari, video clips, indirizzi Web e anche applicazione possono essere associate a qualsiasi oggetto grafico. Inoltre, un oggetto grafico rappresentante ad es. un impianto può essere descritto da un insieme di tematismi raster e/o vettoriali rappresentanti ad esempio il layout, il sistema antincendio, il sistema di allarme etc. Tutte queste informazioni sono generalmente già disponibili in formato CAD. In tale modo, 'cliccando' su un oggetto, il sistema fornisce la lista dei documenti associati che può essere aperta con le usuali applicazioni Windows. La figura 5 di pagina seguente elenca i tipi di documenti che possono essere utilizzati in ARIPAR.

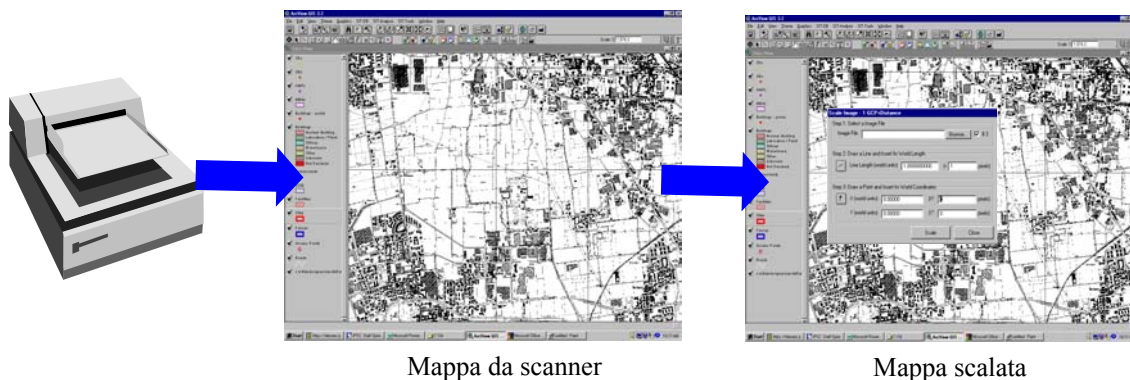


Figura 4. Inserimento della mappa per la georeferenziazione dei dati

La descrizione della distribuzione di popolazione, complessa nelle precedenti versioni di ARIPAR, è ora stata resa semplice e veloce.

Per un dato tipo di uso del suolo (ad esempio residenziale, agricolo, industriale etc) si definisce 'cliccando' sui vertici il poligono che ricopre l'area. Il programma quindi carica automaticamente i valori di default (modificabili) della densità di popolazione e la dimensione delle celle di griglia quadrate. L'analista deve quindi solo definire la categoria di popolazione associata.

ARIPAR-GIS automaticamente genera la griglia per il calcolo del rischio interna al poligono e assegna ad ogni cella della griglia il numero di persone derivate dalla densità di popolazione predefinita per la categoria data dall'analista.

Il risultato complessivo è il ricoprimento dell'area di studio con un insieme di punti distribuiti regolarmente in ogni poligono. Il numero massimo di punti permesso sull'intera area è 10.000.

Naturalmente, maggiore è il numero di punti più preciso è il calcolo del rischio e più elevato è il tempo di calcolo. Per ottenere un buon compromesso tra questi due aspetti si possono applicare le seguenti tecniche:

- Due poligoni differenti rappresentanti lo stesso uso del suolo possono avere griglie diverse, poiché la dimensione delle celle può aumentare all'allontanarsi dalla sorgente;
- Si può evitare di creare poligoni in quelle zone dove il rischio risulta chiaramente trascurabile.

La figura 6. di pagina seguente presenta esempi di possibili rappresentazioni della distribuzione di popolazione: nel primo esempio un punto rappresenta un dato numero di persone (la relazione tra punto e persone può essere definita dall'analista). Nel secondo caso poligoni colorati rappresentano i differenti usi del suolo, ai quali sono assegnate una densità di popolazione e una dimensione di cella.

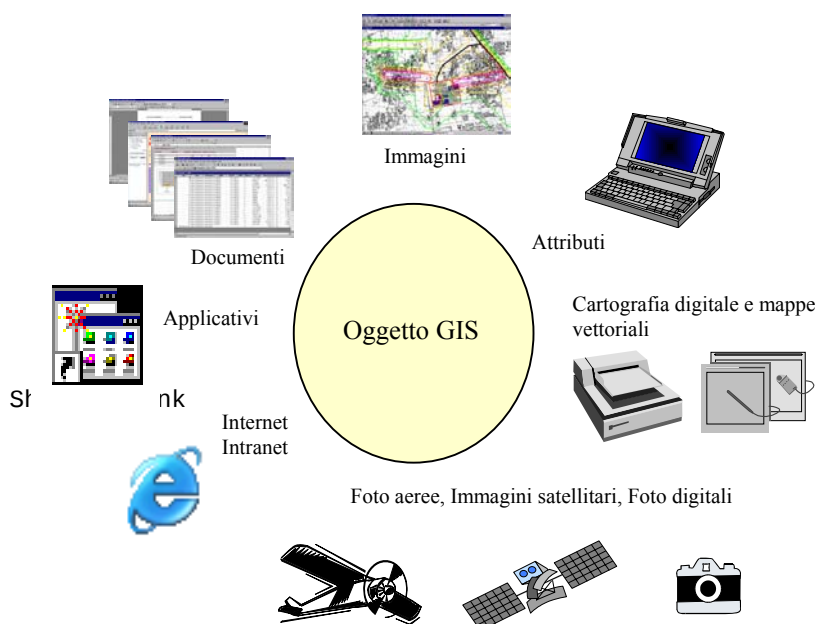


Figura 5. Tipi di documenti utilizzabili

3.3 Fase 3: determinazione del rischio di area per tutte le sorgenti

La descrizione dei dati non georeferenziati per le sorgenti di rischio e il successivo calcolo del rischio per ogni sorgente è effettuato per mezzo di ARIPAR-DB (vedi figura 2). I dati richiesti per descrivere le sorgenti di rischio sono (Figura 7):

- L' *evento iniziatore* dell'albero degli eventi da cui discendono gli scenari possibili, con associate definizione e frequenza di accadimento;

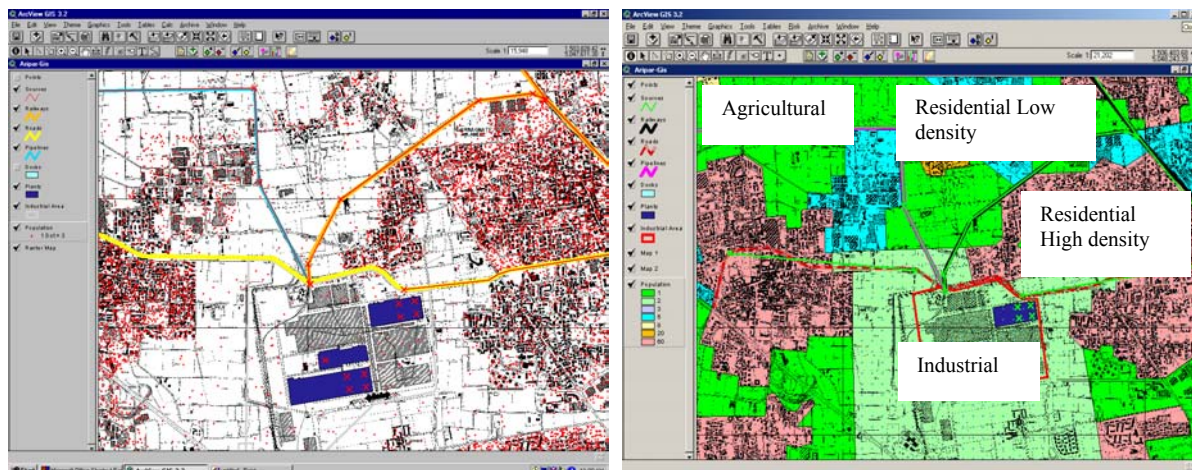


Figura 6. Rappresentazione della popolazione

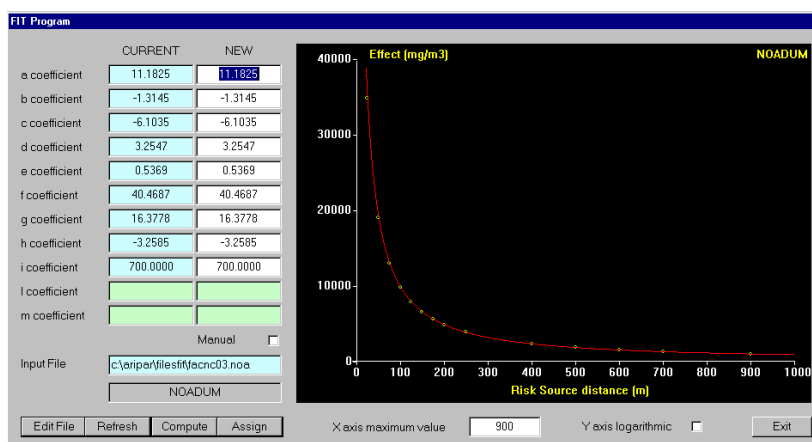
- gli *scenari*, cioè le uscite dell'albero degli eventi caratterizzate da una tipologia di effetto, dalla probabilità di accadimento dato l'evento iniziatore e dai dati di configurazione (vedi fase 1).
- l'*Analisi delle conseguenze*: deve essere fornito il nome del file che contiene i risultati della analisi delle conseguenze effettuata off-line.

ARIPAR-DB utilizza sino a cinque combinazioni meteorologiche (classe di stabilità e velocità del vento) e sino a 16 direzioni del vento.

Il calcolo del rischio per ogni sorgente utilizza un insieme di funzioni di interpolazione che rappresentano i dati di analisi delle conseguenze per ogni combinazione meteorologica.

I parametri di queste funzioni di interpolazione sono calcolati dal modulo di 'fitting' di ARIPAR-DB. I dati di input e le curve interpolanti sono graficati, in modo che l'analista possa verificarne la correttezza e, se necessario, modificare i parametri di interpolazione per ottenere un risultato soddisfacente. Si veda l'esempio in figura sottostante.

Figura 7. Dati delle sorgenti di rischio



Terminato l'inserimento dei dati, viene lanciato il modulo di calcolo del rischio che effettua il calcolo del rischio sull'area di studio, associato ad ogni sorgente (per tutte le sorgenti o per una selezione di esse).

3.4 Fase 4: ricomposizione dei rischi sull'area e presentazione dei risultati.

I risultati del calcolo del rischio sono rappresentati sulla cartografia di base e su diagrammi utilizzando il modulo ARIPAR-GIS.

Vengono mostrati i seguenti risultati:

- isorischio locale e individuale, come curve o griglia;
- valori di rischio locale in punti predefiniti e importanza delle sorgenti associate;
- curve F-N;
- istogrammi I-N;
- istogrammi dell'importanza delle tipologie di rischio;
- istogrammi dell'importanza delle sorgenti di rischio in funzione del numero di decessi;
- curve di danno, cioè curve corrispondenti a tre valori di effetto per ciascun incidente.

In tutti i casi, è possibile visualizzare mappe di rischio e altri risultati per sostanze date, sorgenti o categorie di popolazione. Ciò implica che possono essere generate tante mappe quante sono le scelte fatte dall'analista. Le figure seguenti sono state ottenute selezionando tutte le sorgenti di rischio da un caso esempio relativo ad un'area e a sorgenti fittizie. I risultati in figura 8 mostrano rispettivamente il rischio individuale, rappresentato da curve isorischio e da una griglia, e l'istogramma dei contribuenti principali al rischio locale su un dato punto dell'area.

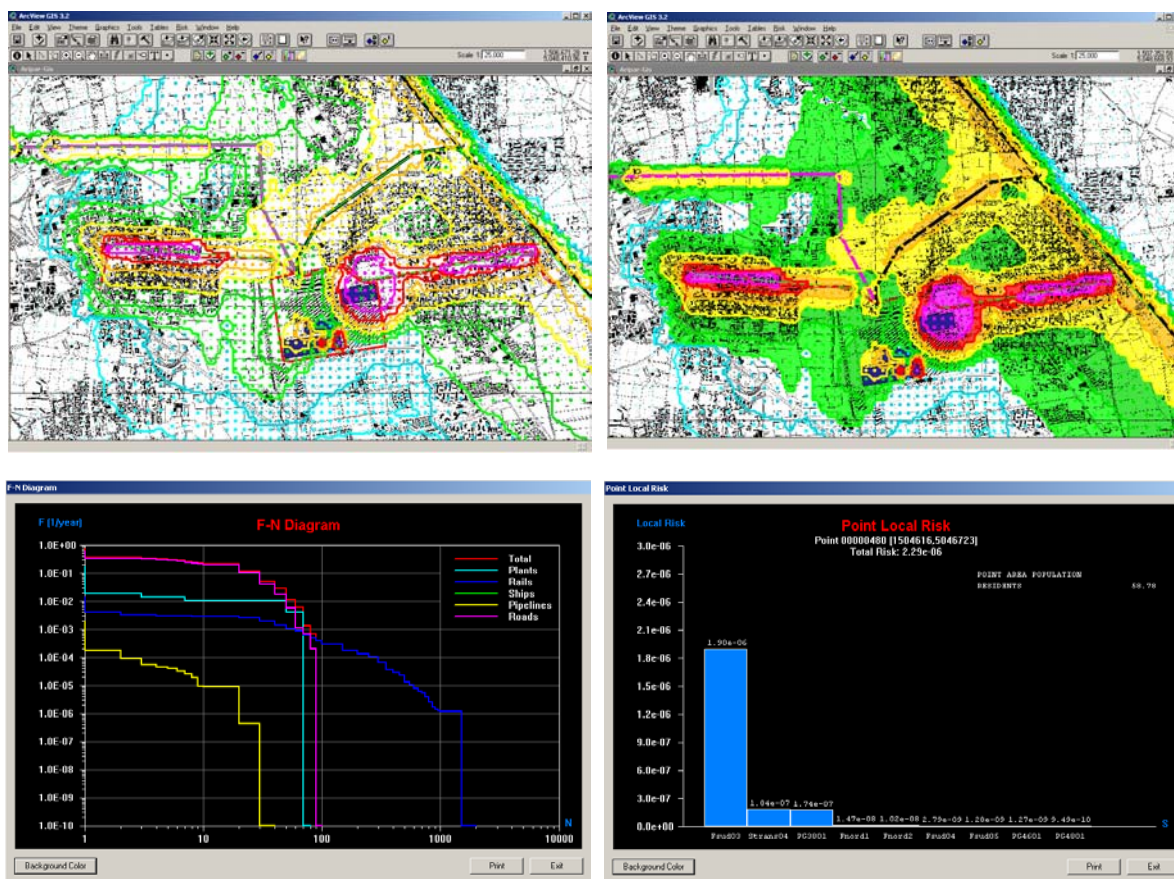


Figura 8. Esempi di risultati del codice ARIPAR

4. CONSIDERAZIONI FINALI e SVILUPPI FUTURI

Sono state illustrate brevemente le principali caratteristiche della versione 3.0 di ARIPAR, che ad oggi è disponibile con l'interfaccia in lingua inglese. Detta implementazione, che renderà possibile la distribuzione ai Paesi dell'Est Europa nell'ambito del progetto PECO, ha permesso di migliorare ulteriormente le funzionalità del software il cui uso potrà più facilmente estendersi. Già a tutt'oggi sono abbastanza numerose

e di significativa importanza le realtà italiane in cui è stato o è in fase di utilizzazione: si veda in merito la Tabella 2.

Per il prossimo futuro sono già stati pianificati ulteriori sviluppi, in particolare:

- L'integrazione dei moduli ARIPAR-GIS e ARIPAR-DB in un sistema unico;
- L'aggiunta di nuove funzionalità, quali ad esempio l'analisi di sensitività per il supporto alle decisioni,
- Alcuni miglioramenti al modulo di calcolo del rischio allo scopo di renderlo compatibile con gli strumenti commerciali attuali di analisi delle conseguenze.

5. RINGRAZIAMENTI

Gli Autori sono grati a A.C. Lucia (JRC-IPSC) e D. Egidi (Regione Emilia Romagna) per il sostegno dato allo sviluppo della versione 3. di ARIPAR.

Lo sviluppo di ARIPAR è stato possibile anche grazie ai fondi del GNDRCIE (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Rischi Chimici, Industriali ed Ecologici) e del Servizio di Protezione Civile della Regione Emilia Romagna.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Health and Safety Executive, *Canvey: an Investigation of Potential Hazards from Operations in the Canvey Island/Thurrock Area*, HM Stationery Office, London, U.K.(1978).
- [2] Rijnmond Public Authority, *Risk Analysis of Six Potentially Hazardous Industrial Objects in the Rijnmond Area. A Pilot Study*. D. Reidel Publishing Company, Dortrech, Holland (1981).
- [3] Egidi D., Foraboschi F.P., Spadoni G., Amendola A. *The ARIPAR Project: Analysis of the Major Accident Risks Connected with Industrial and Transportation Activities in the Ravenna Area*, Reliability Engineering and System Safety, 49, pp.75-79 (1995).
- [4] Uguccioni G., Senni S., De Sanctis S., Vestrucci P., Zappellini G., *Industrial Area Risk Management through risk analysis technique*, PSAM Conference, Beverly Hills (1991).
- [5] Spadoni G., Leonelli P., Egidi D., *Quantitative Risk Analysis of Industrial and Transportation Activities in the Ravenna Area: a Second Report*, ESREL 97 Conference, Lisbon (1997).
- [6] Bellezza F., Contini S., Binda M., Spadoni G., *A GIS Based Software Tool for Risk Assessment and Management in Industrial Areas*, ESREL 98 Conference, Trondheim (1998).
- [7] Spadoni G., Contini S., Egidi D., *ARIPAR-GIS: Un supporto per le attività di previsione e prevenzione dei rischi e la preparazione all'emergenza in aree industriali e portuali a rischio di incidente rilevante*, VGR 98, Pisa, Ottobre (1998).
- [8] Heywood, I., Cornelius, S., Carver, S., "Geographical Information Systems". Addison Wesley Longman Ltd. (1998).
- [9] Contini S., Bellezza F., Christou M., Kirchsteiger C., *The use of geographical information systems in major accident risk assessment and management*, Journal of Hazardous Materials, 78, pp. 223-245(2000).

Area	Aziende / Impianti	Scenari (impianti fissi)	Trasporto di sostanze pericolose				Area in studio (km ²)	Studio sviluppato da	Promosso da	Stato
			Vettori/a Strada	Carri/a Ferrovia	Navi/a	Condotte				
Ravenna	../47	379	128 000	2500	4 000	21	205	Snamprogetti – NIER – DAM e Università di Bologna	Servizio di Protezione Civile – Regione Emilia Romagna	Completato 1992
Livorno	11/35	306	136 800	3800	3 800	12	45	Snamprogetti	Gruppo Nazionale per la Difesa dai Rischi Chimico-Industriali ed Ecologici	Completato 1999
Piombino	3/5	46	7300	-	-	-	3	Università di Pisa	ARPA - Toscana	Completato 1999
Mantova	-	-	85 180	24 700	-	-	5	Università di Pisa Istituto Superiore Sanità		Completato 2001
Priolo	15/>200	Da calcolarsi	71 000	3 000	4 000	50	> 100 km ²	Snamprogetti	Ministero dell'Ambiente	In progress
Milazzo	1/43	191	12120	-	732	-	20 km ²	Università di Messina		In progress
Gela	4/4	27	19766	3654	1500	-	30 km ²	Università di Messina		In progress

Tabella 2. Dati principali degli studi italiani di rischio d'area effettuati utilizzando ARIPAR-GIS