

Questo elaborato nasce con l'intento di descrivere sistematicamente la ripartizione dei flussi veicolari in un contesto di evacuazione di massa. Quanto presentato, tuttavia, è perfettamente applicabile anche a flussi di persone, previa opportune modifiche. Lo scopo fondamentale non è la definizione del piano d'evacuazione, ma piuttosto il dimensionamento preliminare del fenomeno: da una parte, gli algoritmi e i modelli presentati servono a valutare le risorse umane, temporali e materiali necessarie per la buona riuscita dell'evacuazione; dall'altra, il confronto tra i risultati ottenuti e i dati di partenza permette, attraverso confronti e iterazioni, di scegliere l'approccio più pratico o conveniente in un dato contesto.

La tesi si apre con la presentazione del cosiddetto "albero degli scenari", una struttura metodologica che permette di inquadrare il problema trasportistico dell'evacuazione in tutti i suoi aspetti modellistici. La differenziazione fondamentale è tra le evacuazioni pianificabili, overosia causate da eventi parzialmente o totalmente prevedibili, come i fenomeni idrologici, e le evacuazioni improvvise, non pianificabili, che si verificano spontaneamente a seguito di eventi imprevedibili, come nel caso dei terremoti. Osserviamo che, in linea generale, la portata dei modelli è molto vasta: nella prima categoria di eventi figurano anche eventi insoliti ma realistici, come il ritrovamento di ordigni bellici inesplosi durante le attività di scavo; tra gli eventi imprevedibili, possiamo citare i rilasci incidentali in contesti industriali o durante i trasporti di merci pericolose. Altre caratteristiche prese in considerazione per distinguere i possibili contesti applicativi sono le scale di discretizzazione rispetto al tempo (continuo o discreto) e rispetto ai flussi (approcci microscopici-macroscopici-mesoscopici), le branche dell'Ottimizzazione e della Matematica Applicata più consone per risolvere il problema e, infine, il livello di coercizione applicabile da parte degli organi statali. Quest'ultimo livello di differenziazione costituisce il cuore dell'elaborato, come verrà evidenziato in seguito.

Considerando le diverse tematiche in gioco, afferenti sia alla modellistica matematica, sia alla Pianificazione dei Trasporti, ma anche alla psicologia, alla Protezione Civile e alla gestione delle Emergenze, emerge per importanza il secondo capitolo, consistente in una trattazione di dettaglio dello Stato dell'Arte, grazie al quale si sono potute porre le basi per il resto del lavoro, che prosegue mostrando i tre possibili approcci, le scelte modellistiche introdotte e le relative conseguenze.

Nel contesto di questo specifico lavoro, si è scelto di analizzare un'evacuazione prevedibile, con un approccio macroscopico a tempo discreto, confrontando l'efficacia dei vari approcci nello stesso identico contesto. L'operazione preliminare, necessaria per ogni algoritmo, è l'introduzione di un'opportuna zonizzazione del territorio in esame per classificare tre fasce di rischio, che ci consentono di definire dei differenti parametri comportamentali in base a dove si dirigono o si trovano gli utenti della rete. Un esempio di zonizzazione facilmente immaginabile è quella per cerchi concentrici che si definisce nel caso di ritrovamenti di ordigni inesplosi: tanto più lontano è il nodo dall'ordigno, tanto meno pericolosa sarà la zona corrispondente, e tanto meno urgenti e caotici saranno, presumibilmente, gli spostamenti di allontanamento degli utenti. Nel caso specifico della tesi, si ipotizza che il grafo del caso studio reale sia interessato da un'inondazione, conseguente ad eventi critici idrologici come alluvioni intense. Di conseguenza, un criterio di zonizzazione ragionevole è quello della quota altimetrica dei nodi, per cui i nodi di quota minore sono soggetti a rischio maggiore (non soltanto direttamente, per l'incolumità degli utenti della rete, ma anche per eventuali fenomeni di disconnessione del nodo dal resto del grafo).

Venendo allo studio dei tre approcci applicabili da parte dello stato, i due concetti estremi sono stati ribattezzati "Imposizione Totale" e "Semplice Informazione". Da una parte, possiamo calarci in un contesto totalmente coercitivo, praticamente dittatoriale, in cui i vari organi d'intervento statale (a.e. Esercito e Forze Armate, Forze dell'Ordine, Protezione Civile) impongono rigidamente gli spostamenti dei cittadini da un nodo all'altro del grafo stradale; dall'altra, all'opposto, immaginiamo che la mobilitazione di questi corpi ci sia, ma che ogni cittadino/veicolo sia completamente e arbitrariamente in grado di definire quali archi percorrere e dove dirigersi, ad ogni intervallo della nostra discretizzazione temporale (assunto della durata di un minuto, per trovare un compromesso accettabile tra esigenze modellistiche, computazionali e di realismo della scelta decisionale degli utenti della rete). L'Imposizione Totale è stata sviluppata espandendo un modello già

presente in letteratura; la Semplice Informazione, invece, rappresenta uno sviluppo completamente autonomo dell'autore, che innesta delle considerazioni derivanti dallo studio della Psicologia e della Teoria dei Giochi nel contesto del celebre Modello a 4 Fasi.

L'Imposizione Totale viene affrontata nel Capitolo 3. Si impone un modello di Ottimizzazione Lineare Mista Intera (MILP), il cui scopo è contemporaneamente l'ottimizzazione dei flussi sugli archi, allo scopo di ridurre i tempi di percorrenza in ciascuna zona, privilegiando l'uscita da zone ad alto rischio, e l'intervento topologico sulla rete. Sono concesse due azioni:

- Si può bloccare un arco per forzare una certa direzione;
- Si può invertire il senso di percorrenza di un arco, a.e. imponendo un presidio militare sui nodi estremi, per favorire il deflusso o raddoppiare la capacità di archi a doppio senso di circolazione che risulterebbero utilizzati soltanto in un senso.

La Semplice Informazione, invece, prevede il ricorso ad un modello di assegnazione e scelta del percorso integrato che si allaccia al Modello a 4 Fasi, come detto prima. Il modello nasce come applicazione di alcuni elementi della teoria dei giochi e della teoria dei grafi e presenta alcune assunzioni, adottando la prospettiva del singolo utente sulla rete:

1. La distribuzione iniziale degli utenti tra i nodi e il modo in cui decidono di immettersi nella rete nel tempo sono stimate con il Duopolio di Cournot;
2. Sia per accuratezza del modello comportamentale, sia per sfuggire all'enumerazione esplicita dei percorsi, si impone una trattazione ai nodi, invece che agli archi;
3. I costi utilizzati nel Logit sono i costi "visti" dall'utente, filtrati attraverso la propria consapevolezza del pericolo, secondo dei parametri dipendenti dalla zonizzazione del rischio;
4. Distinguiamo tra i "flussi di prossimità" su ciascun arco, che quantificano l'intenzione di dirigersi verso uno dei successori del nodo attuale, e i flussi d'arco propriamente detti, che sono una combinazione lineare dei flussi di prossimità a ritroso nel tempo rispetto al minuto attuale;
5. Le altre equazioni del modello sono di chiusura, per permettere l'avanzamento nel tempo.

Il terzo approccio, di "Prescrizione Parziale", prevede sostanzialmente di ambientare la Semplice Informazione in un grafo opportunamente modificato secondo gli esiti dell'algoritmo MILP del metodo coercitivo.

Chiusa la trattazione modellistica ed analitica, il Capitolo 5 presenta i risultati delle simulazioni MATLAB richieste. In primis, sono stati utilizzati due grafi di prova, di diversa complessità, per la validazione dei metodi e degli algoritmi; dopodiché, è stata condotta una terna di simulazioni sul grafo reale della cittadina statunitense di Sioux Falls, South Dakota. L'applicazione dell'Imposizione Totale sul grafo reale ha richiesto una giornata intera di simulazione, contrariamente al calcolo dei flussi secondo gli approcci più liberali, che richiedono pochi minuti. La gestione degli aspetti computazionali e l'analisi delle prospettive di miglioramento è affrontata nel dettaglio nel Capitolo 6, relativo alle Conclusioni vere e proprie, in cui si pone anche l'auspicio che questa tematica interdisciplinare venga approfondita dalla letteratura di settore nei prossimi anni.