

Sperimentazione in ambiente GIS di una metodologia per l'automatizzazione di procedure nell'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE)

Alessandro Lambertini, Davide Loi, Gabriele Bitelli

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali - DICAM, Università di Bologna
Viale del Risorgimento 2, 40136 Bologna, +39 051 2093109
alessandro.lambertini@unibo.it, davide.loi@studio.unibo.it, gabriele.bitelli@unibo.it

Sommario

Il sisma in Abruzzo del 2009 ha evidenziato le problematiche, le difficoltà e le carenze nella gestione dell'emergenza a seguito di calamità naturali. Tra gli strumenti che sono stati elaborati a seguito di questa esperienza, l'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE), introdotta con OPCM 4007/2012, si riferisce alla condizione - successiva ad un grave evento catastrofico - in cui "l'insediamento urbano conserva comunque, nel suo complesso, l'operatività della maggior parte delle funzioni strategiche per l'emergenza, la loro accessibilità e connessione con il contesto territoriale". I risultati di quest'analisi devono essere recepiti all'interno dei Piani di Emergenza comunali o intercomunali, al fine di poter individuare e mitigare le eventuali criticità nel corso della fase emergenziale. Il lavoro si riferisce a un'attività condotta all'interno della sperimentazione in cui è coinvolto il Settore Territorio del Comune di Faenza (RA), impegnato nell'elaborazione del nuovo strumento di pianificazione comunale (RUE 2015), ed è indirizzato alla possibilità di automatizzare, per quanto possibile, l'individuazione dei migliori percorsi propedeutici alla redazione dell'analisi di CLE, con l'obiettivo di fornire uno strumento utile per velocizzarne il processo di elaborazione e fornire una prima e oggettiva stima della CLE ottimale. Sono stati utilizzati a tal fine strumenti GIS, legati in primo luogo alle procedure di analisi delle reti, realizzando script in linguaggio Python in ambiente GRASS GIS; tra gli obiettivi di questa realizzazione prototipale vi è la generalizzazione della procedura per renderla idonea e riproducibile in altri contesti territoriali nazionali ed internazionali.

Abstract

The Abruzzo earthquake in 2009 highlighted the problems, difficulties and shortcomings in the management of emergencies derived from natural disasters. Among the tools that have been developed as a result of this experience, the analysis of the "Condizione Limite per l'Emergenza" (CLE), introduced with OPCM 4007/2012, refers to the condition following a major catastrophic event in which "the urban settlement still retains, as a whole, the operability of most strategic functions for the emergency, their accessibility and connection with the local context". The results of this analysis must be included within the municipal emergency plans, in order to identify and mitigate any criticality during the emergency phase. The work relates to an activity conducted within the trial in which the Environment Unit of Municipality of Faenza (RA) is involved. The Unit is engaged in the elaboration of the new instrument of municipal planning (RUE 2015), and is interested in the automatic identification of the best routes for CLE study, with the aim of providing a useful tool to speed up the development process and provide an early, objective estimate of CLE optimal. GIS instruments and procedures for network analysis are used, creating scripts in Python language within the GRASS GIS environment. Among the objectives of this prototype

implementation is the generalization of the procedure in order to be reproduced in other national and international territorial contexts.

Introduzione

Il terremoto dell'Aquila, avvenuto il 6 Aprile 2009, ha evidenziato diverse problematiche relative alla prevenzione e gestione delle emergenze da parte dell'amministrazione pubblica, in particolare per eventi di carattere sismico. Tra gli strumenti messi a punto a seguito di questa esperienza, vi è stata l'introduzione con OPCM 4007/2012 dell'analisi alla Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) (Bramerini, Castenetto, 2013); essa si riferisce a quella condizione, a seguito di un evento calamitoso come quello sismico, in cui l'insediamento urbano conserva nel suo complesso l'operatività della maggior parte delle funzioni strategiche per la gestione dell'emergenza, la loro accessibilità e connessione con il contesto territoriale, nonostante il verificarsi di danni fisici e funzionali tali da condurre all'interruzione della quasi totalità delle funzioni urbane presenti, compresa la residenza.

Nella sperimentazione illustrata in questo articolo sono stati messi a punto strumenti per l'analisi e la risoluzione automatica della CLE, studio che allo stato attuale viene generalmente realizzato dai tecnici con operazioni manuali, rappresentando il risultato grafico con strumenti CAD o GIS. L'obiettivo è fornire agli enti pubblici uno strumento d'aiuto rapido nel processo decisionale per l'analisi alla Condizione Limite per l'Emergenza. L'automatizzazione qui svolta riguarda in particolare lo studio delle reti, funzionalità tipicamente implementata in *software* GIS, tra i quali il sistema GRASS GIS (GRASS GIS *Development Team*, 2015) che è stato utilizzato per la sperimentazione.

Lo studio e l'analisi degli argomenti trattati sono stati svolti in collaborazione con il Settore Territorio del Comune di Faenza, città sul cui territorio è incentrato il caso di studio presentato nei successivi capitoli, che con grande disponibilità ha fornito dati e linee guida atte alla realizzazione di uno *script* realizzato in linguaggio Python che fosse in grado di automatizzare e coadiuvare il processo decisionale, restituendo come risultato l'analisi alla CLE sotto forma di carta tematica.

Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE)

In seguito ad ogni possibile evento catastrofico è indispensabile mantenere la governabilità del territorio; a tal fine la CLE definisce tutti quegli elementi indispensabili al coordinamento dell'emergenza, partendo dalle strutture preposte alla gestione, fino alle infrastrutture d'interconnessione tra queste strutture e l'intero sistema urbano regionale, necessario per garantire l'evacuazione e l'intervento dei soccorsi.

A tal propositivo l'analisi alla CLE definisce cinque tipologie di entità:

- Edificio Strategico (ES): centri di gestione del territorio
- Aree d'Emergenza (AE): aree di ammassamento e salvaguardia della popolazione
- Infrastrutture di Accessibilità/Connessione (AC): infrastrutture di collegamento tra gli elementi in precedenza citati e i centri urbani limitrofi
- Aggregati Strutturali ed Unità Strutturali (AS, US): edifici il cui crollo potrebbe ostruire parzialmente o completamente le infrastrutture di collegamento AC, o gravare su AE

Un edificio strutturale US o un aggregato AS può essere considerato interferente con un'area d'emergenza AE nel caso la sua altezza massima (H) sia superiore alla distanza (d) tra il piede dell'edificio e l'area d'emergenza stessa (*Figura 1a*). Lo stesso edificio, singolo US o inserito in un aggregato AS può essere considerato interferente con un'infrastruttura di connessione o accessibilità AC nel caso la sua altezza (H) sia maggiore della larghezza dell'infrastruttura (L) considerata dal piede dell'edificio (*Figura 1b*).

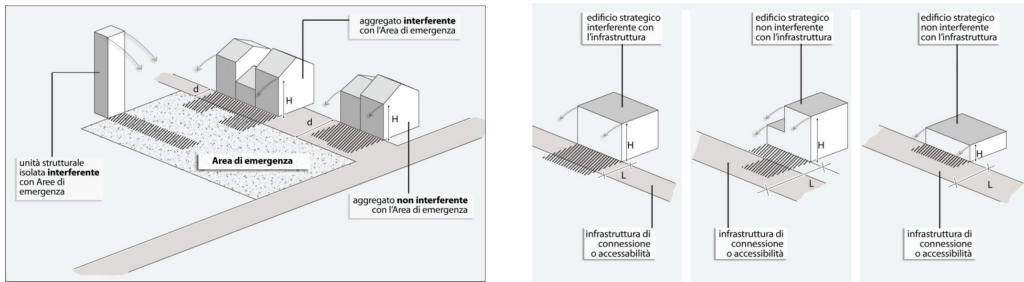


Figura 1 - Aggregati ed Edifici Interferenti con: A. Aree d'Emergenza; B. Infrastrutture AC (Bramerini, Castenetto, 2013).

Ricerca delle infrastrutture di Accessibilità e Connessione

La prima fase dell'automatizzazione per l'analisi della CLE si è svolta con la raccolta di tutto il materiale necessario allo scopo. Condizione fondamentale è la presenza d'informazioni riguardanti la larghezza delle carreggiate presenti nel dataset vettoriale delle strade del Comune in analisi. E' inoltre necessaria la presenza di attributi che si riferiscono all'altezza degli edifici presenti. L'analisi automatizzata della CLE stima infatti le infrastrutture di accessibilità e connessione AC e gli edifici interferenti US, individuando in una prima fase la sottorete che unisce con percorsi minimi tutti i punti d'interesse urbano (ES/AE). Successivamente, tramite la valutazione dell'altezza di tutti gli edifici adiacenti a tale sottorete ed alle aree di emergenza, vengono definiti interferenti quelli corrispondenti a specifici criteri da normativa.

Acquisiti i dataset fondamentali relativi a grafo stradale, edifici e Piano di protezione civile (Figura 2), si è proceduto alla creazione di un successivo layer che riporta la posizione dei punti di accesso principali a tutti gli elementi d'importanza strategica, presenti sul territorio (Figura 3).

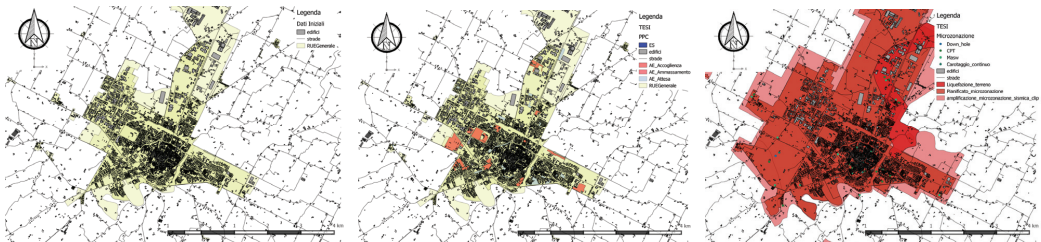


Figura 2 - A. Grafo stradale e volumetrie; B. Piano di protezione civile PPC; C. Studi di Microzonazione sismica.

Questa operazione è fondamentale poiché per una corretta analisi della rete è necessario che il grafo sia composto da archi e da nodi che costituiscono le estremità dei percorsi che saranno oggetto del calcolo. Il software GIS con i dati ricevuti in input non ha tuttavia le informazioni necessarie per stabilire quale sia il punto reale di accesso di un edificio su una strada, poiché gli edifici sono normalmente rappresentati come poligoni chiusi senza specifiche sul punto di accesso. Si potrebbe evidentemente reperire questa informazione da un database geolocalizzato dei numeri civici, se questi sono stati correttamente posizionati sul territorio in corrispondenza del punto d'accesso del relativo edificio. In assenza di tale dato occorre che l'operatore stesso identifichi i punti d'accesso degli edifici d'interesse e li riporti direttamente in ambiente GIS.



Figura 3 - Punti di accesso.

In seguito alla definizione dell'ambiente di lavoro in GRASS GIS sono stati importati i *dataset* vettoriali necessari per l'analisi:

- *strade*: contenente il grafo strade con gli attributi di larghezza.
- *edifici*: contenente i poligoni rappresentanti gli edifici e con attributi di altezza.
- *punti*: contenente i punti di accesso degli edifici strategici e delle aree d'emergenza.
- *aree_emergenza*: contenente poligoni rappresentanti le aree d'emergenza, derivante dal Piano Emergenza del Comune inerente al PPC.

Ogni dato in input deve essere sottoposto ad un processo di verifica topologica al fine di renderlo adatto all'elaborazione della rete tramite strumenti GIS; non sono infatti rare alcune imperfezioni che renderebbero impossibile una corretta analisi.

Per risolvere alcune di queste problematiche è fondamentale un attento intervento manuale atto a valutare e correggere le situazioni più problematiche tramite un *editing* diretto sul dato. Per le restanti circostanze è possibile applicare strumenti automatici presenti nel GIS (nel caso di GRASS GIS: *v.clean* e *v.build*).

In particolare, tramite il comando *v.clean* sono stati riuniti archi interrotti (funzione *break*), incroci separati (funzione *snap*) entro tolleranze definite e rimosse linee fittizie di lunghezza nulla (funzione *rmline*). Con l'utilizzo della funzione *v.build* è stata ricostruita topologicamente la geometria di tutti gli elementi.

Come successiva operazione di pulizia si è forzato il *dataset* su un unico piano topologico tramite il comando *v.to.3d* inverso, rimuovendo eventuali informazioni geometriche di quota presenti nel grafo stradale vettoriale. Alcuni errori potrebbero sorgere con l'utilizzo di dati in tre dimensioni nel momento in cui archi giacenti su piani diversi non giungessero ad intersezione con la conseguente impossibilità di creare un nodo.

In seguito è necessario unire il *layer* degli elementi lineari delle strade a quello puntuale degli accessi utilizzando il comando *v.net*, affinché vengano elaborati come rete coerente nel *software GIS*, connettendone gli attributi con il comando *v.db.connect*.

La ricerca delle infrastrutture di connessione e accessibilità di maggior efficienza può essere assimilata alla ricerca dell'albero minimo di Steiner (Garey, Johnson, 1977), cioè la sottorete di costo minimo. Nel caso in analisi, il costo per ogni arco è dato dalla lunghezza e di conseguenza il risultato sarà una sottorete che collega tutti i punti della rete con i percorsi più brevi. All'interno di GRASS GIS è presente la funzione che permette tale calcolo: *v.net.steiner*. Nota la rete e l'intervallo dei nodi che si desiderano unire, è possibile creare una sottorete vettoriale che unisca tutti gli elementi strategici del sistema comunale. Tale sottorete sarà composta dalle infrastrutture AC.

In seguito alla realizzazione del grafo è necessario importare dalla rete iniziale gli attributi sulle larghezze dei vari archi nella sottorete di costo minimo. Questo perché nel passaggio successivo si valuteranno le altezze degli edifici in rapporto alle larghezze delle infrastrutture AC appena trovate.

Per trovare gli aggregati interferenti occorre infatti confrontare le larghezze del grafo AC con le altezze degli edifici antistanti. A tal fine si realizza una nuova tabella attributi per la rete vettoriale di Steiner con il comando `v.db.addtable`. All'interno di tale tabella si crea una colonna relativa alle "larghezze" con il comando `v.db.addcol` e si importano i dati in base alla vicinanza dei layer d'origine e di arrivo tramite il comando `v.distance`.

La procedura eseguita in GRASS GIS, tramite uno script realizzato in linguaggio Python, è illustrata in Figura 4.

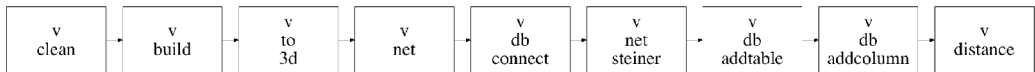


Figura 4 - Flusso di lavoro per la ricerca delle infrastrutture di AC.

Confrontando il grafo delle infrastrutture di connessione e accessibilità calcolato in ambiente GIS con la funzione di Steiner (blu) a quello individuato dai tecnici del Comune di Faenza (rosso) si nota come molti tratti siano in comune (Figura 5). Il grafo di Steiner risulta in parte più efficiente, anche se la mancanza di tratti alternativi va a svantaggio della sicurezza. Per riprodurre in maniera automatizzata questa ridondanza di percorsi, si potrebbero calcolare diverse funzioni di Steiner sulla rete considerando gli "n" grafi individuati in precedenza con costi maggiori rispetto agli altri archi presenti nella rete. In quest'ottica, nell'analisi GIS si favorirebbero percorsi alternativi producendo diverse possibilità di sottorete. In ultima analisi, potrebbe spettare al tecnico la scelta su quali e quante sotto-reti utilizzare, creando un'infrastruttura di collegamento e accessibilità sia in un'ottica di efficienza che di ridondanza finalizzata alla sicurezza.

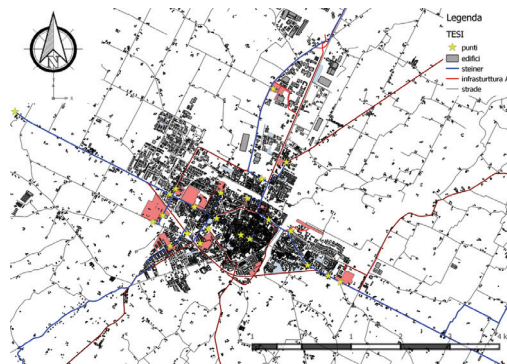


Figura 5 - Confronto Infrastrutture AC estratte automaticamente (blu) e manualmente (rosso).

Ricerca degli Aggregati Strutturali interferenti

Il successivo studio nell'analisi alla CLE riguarda la ricerca degli aggregati interferenti, chiamati AS. Affinché un aggregato di edifici sia definito interferente, in esso deve essere presente almeno una struttura US la cui impronta di ribaltamento ricopra totalmente la carreggiata di un'infrastruttura di connessione o accessibilità ($H > L$). Un edificio può altresì essere considerato interferente se posto internamente a un'area di emergenza, o se la sua impronta di ribaltamento è maggiore della sua distanza dal perimetro dell'area d'emergenza ($H > d$). Per individuare gli edifici interferenti con le infrastrutture, chiamati AC, si è calcolata la distanza tra gli edifici e la sottorete di Steiner, per poi valutarla in funzione della larghezza della carreggiata e dell'altezza degli stabili. Con buona approssimazione si è stimato che gli edifici che risultano interferenti sono quelli che presentano una distanza (n) dall'asse stradale della sotto rete che soddisfa la seguente equazione:

$$n < h - (\text{larghezza}/2) \quad [1]$$

Per trovare la distanza (n) tra il piede degli edifici e l'asse delle infrastrutture appartenenti alla sottorete di Steiner si è utilizzata la funzione *v.distance* popolando una colonna attributi in ognuno dei due *layer*. In seguito si sono estratti gli edifici che rispondevano ai requisiti descritti dalla funzione logica riportata in precedenza inserendola nel parametro *where* del comando *v.extract* (Figura 6).

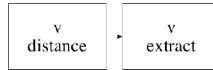


Figura 6 - Flusso di lavoro per la ricerca degli AS interferenti con le infrastrutture di AC.

Per trovare gli edifici interferenti con le aree d'emergenza è stato creato un *buffer* (*v.buffer* in GRASS GIS) del *layer* edifici con *offset* di ogni poligono pari all'altezza del relativo edificio, per valutare a favore di sicurezza la loro massima proiezione di ribaltamento. Si è quindi eseguito un *overlay* con operatore logico *and* utilizzando la funzione *v.overlay* tra il *buffer* degli edifici e le aree d'emergenza così da evidenziare le parti interferenti.

Il dato in *output* dalla funzione *overlay* riporta come attributi gli identificativi degli edifici interferenti. Si sono quindi estratte dal *layer* edifici tutte quelle strutture il cui identificativo era elencato nell'*output* della funzione *overlay*. Per fare questo si è aggiunta una colonna chiamata "US" sia al *layer* dell'*overlay* che al *layer* degli edifici e si è popolata con il valore "1" tramite la funzione *db.execute*. Conseguentemente, si è popolato l'attributo "US" del *layer* edifici con tale valore unicamente in corrispondenza degli stabili esistenti anche all'interno del *layer overlay*. Questa ricerca è stata eseguita con una *Query* in linguaggio di interrogazione SQL (*Structured Query Language*), formalizzata all'interno di GRASS GIS tramite il comando *db.execute*.

```

    sql="UPDATE edifici SET US=(SELECT US FROM overlay WHERE
    edifici.id_e=overlay.a_id_e)" [2]
  
```

Infine, utilizzando il comando *v.extract* si sono estratti dal *layer* edifici unicamente gli stabili con attributo "US" pari a "1", a conferma della loro presenza nel *layer overlay* (Figura 7).

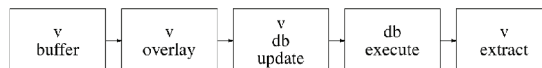


Figura 7 - Flusso di lavoro per la ricerca degli AS interferenti con le AE.

In Figura 8, confrontando gli aggregati interferenti individuati utilizzando la procedura descritta in GRASS GIS (verde) con quelli segnalati dai tecnici del Comune di Faenza (giallo) si possono osservare alcune differenze. Tuttavia, essendo le infrastrutture AC diverse nei due casi, è conseguentemente naturale attendersi delle discordanze anche sugli aggregati AS, essendo questi ultimi dipendenti dalla prima analisi. Una successiva considerazione riguarda la più ampia estensione degli aggregati trovati dai tecnici. Tale risultato non giunge inaspettato, poiché nella seconda fase dell'analisi del sistema faentino i tecnici hanno portato a termine un rilievo sul campo atto a stabilire possibili relazioni strutturali tra le unità interferenti US stimate e il loro contesto. Tale informazione, se acquisita e inserita nel *dataset* iniziale, può essere utilizzata anche in ambiente GIS per arrivare agli stessi risultati in via analitica. Ancora una volta, si può quindi osservare come la qualità, quantità, completezza e accuratezza dei dati iniziali siano fondamentali per automatizzare l'analisi della CLE, poiché un più ampio contenuto informativo iniziale si traduce in un miglior risultato finale.

Si riporta in Figura 9 la carta tematica, risultato dell'intera analisi condotta con GRASS GIS.



Figura 8 - Aggregati interferenti AS estratti automaticamente (verde) e manualmente (giallo).



Figura 9 - CLE stimata automaticamente con GRASS GIS.

Conclusioni

Gli strumenti GIS sono sempre più utilizzati in ambienti pubblici e privati, grazie alla loro grande semplicità e flessibilità di utilizzo, con la capacità di gestire e integrare molteplici dati di diversa natura. Nel lavoro presentato, essi sono stati utilizzati per automatizzare l'analisi della CLE nel caso

studio del sistema faentino. Uno dei problemi principali che si debbono affrontare in queste realizzazioni è legato alle caratteristiche dei dati disponibili in input; sovente essi sono disomogenei, essendo di competenza di diversi enti pubblici, e affetti da incongruenze e imperfezioni topologiche che non ne rendono possibile l'uso immediato in analisi di rete. In un'ottica di sviluppo e perfezionamento, il controllo dei dati, la loro accuratezza, la quantità e completezza d'informazioni presenti negli attributi a essi collegati e la loro conformità a prescindere dall'ente produttore, ricoprono sicuramente l'aspetto più importante, poiché rappresentano le fondamenta di ogni possibile analisi in applicazioni di questa tipologia. Infatti, se le capacità e le funzioni di questi *software* sono molteplici e riguardano diversi ambiti applicativi, per usufruire delle loro potenzialità è essenziale la correttezza topologica dei dati iniziali.

Si è evidenziato come non sia stato possibile automatizzare l'intero flusso del processo: la necessità di estrapolare le aree d'emergenza dal piano della protezione civile, la creazione di un *dataset* puntuale rappresentativo dei punti d'accesso alle diverse strutture trattate dall'analisi, la mancanza di dati inerenti ai collegamenti strutturali tra gli edifici presenti nel territorio faentino, hanno contribuito a rendere l'intero processo dipendente anche dall'intervento manuale di un operatore. Nell'eventualità in cui questi aspetti siano stati risolti in precedenza nel dato in *input*, la prima fase di analisi sarebbe evidentemente semplificata a beneficio dell'automazione della procedura descritta.

Approfondendo ulteriormente le procedure riguardanti l'analisi della CLE, rimane possibile rendere la sottorete più efficiente. Si può notare come alcune procedure, tra le quali le funzioni di costo dei vari archi della rete, potrebbero essere espresse tramite funzioni specifiche per le finalità in oggetto. I risultati ottenuti si possono complessivamente considerare soddisfacenti e l'esperienza svolta è stata un'ulteriore conferma di quanto gli strumenti GIS siano in continua evoluzione e diventino ogni giorno più completi, flessibili ed efficienti; il loro utilizzo diventa quindi sempre più imprescindibile all'interno degli enti pubblici e nelle realtà che gestiscono o amministrano il territorio.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Comune di Faenza, Settore Territorio, Servizio Progettazione Urbanistica e Ambientale.

Bibliografia

- Bramerini F, Castenetto S. (2013), "Manuale per l'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) dell'insediamento urbano", Dipartimento della protezione civile CNR- Istituto di geologia ambientale e geoingegneria, Roma.
- Bramerini, Caviato e Fabietti, 2003, Dossier: Strategie di mitigazione del rischio sismico e pianificazione; CLE: Condizione Limite per l'Emergenza, INU Edizioni.
- Protezione Civile, Conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome, Istruzioni per la compilazione delle schede inerenti all'Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE). Settore Territorio del Comune di Faenza, Agibilità Edifici Strategici Comune di Faenza.
- GRASS GIS Development Team (2015), "GRASS GIS User Manual".
- Garey M, Johnson, D. (1977), "The Rectilinear Steiner Tree Problem is $\$NP\$-Complete", SIAM Journal on Applied Mathematics, 32:4, 826-834.$