



Metodologie per la costruzione di DB 3D del sottosuolo per la città di Milano

Davide Sartirana, Università degli Studi di Milano Bicocca, d.sartirana1@campus.unimib.it

Mattia De Amicis, Università degli Studi di Milano Bicocca, mattia.deamicis@unimib.it

Tullia Bonomi, Università degli Studi di Milano Bicocca, tullia.bonomi@unimib.it

Parole chiave: infrastrutture sotterranee; banche dati; Milano; 3D; ArcGISPro

ABSTRACT

L'aumento della popolazione ha comportato una rapida espansione delle città con aumento della densità e la costruzione lungo la dimensione verticale, con il contemporaneo sviluppo nel sottosuolo per la costruzione di parcheggi e scantinati. La città metropolitana di Milano fa parte di quei nuclei urbani che hanno subito tale trasformazione, soprattutto in seguito alla trasformazione di aree industriali. La chiusura delle maggiori industrie ha generato a partire dai primi anni '90 una risalita della falda. Obiettivo di questo studio è stata la definizione di una metodologia per la costruzione di una banca dati 3D delle infrastrutture del sottosuolo utilizzando open data cartografici (DbT), in modo da permettere la replicabilità della procedura in altre aree.

I risultati ottenuti sono poi stati gestiti in ArcGIS Pro in modo da poter visualizzare e modellare l'impatto sul sottosuolo delle infrastrutture presenti. Inoltre, la banca dati è fondamentale per poter modellizzare in modo accurato, mediante un modello numerico di flusso, lo stato quantitativo della prima falda. In particolare, verranno osservate le interazioni tra falda e infrastrutture sotterranee. L'utilizzo integrato di questi strumenti garantisce supporto agli Enti che necessitano di conoscere, per fini gestionali, l'ubicazione delle infrastrutture sotterranee che insistono sul territorio.

1. L'introduzione:

L'aumento della popolazione a livello globale ha comportato una rapida espansione delle città (sprawl urbano), processo che influisce negativamente sulla sostenibilità ambientale, sull'uguaglianza sociale, sulla prossimità ai trasporti e su altri aspetti e servizi sociali (Carruthers and Ulfarsson, 2003). Le città in rapida crescita stanno contrastando questo insostenibile sprawl urbano con l'aumento della densità di popolazione e lo sviluppo di aree urbane lungo la dimensione verticale (Freihage et al., 2011). Lo sviluppo urbano verticale (VUD) può essere definito come la forma di sviluppo di edifici medio-alti, che supporta la compattezza urbana densificando ed ottimizzando l'ambiente costruito (Koziatek et al., 2017).

Uno sviluppo verticale verso l'alto comporta uno sviluppo anche al di sotto del suolo per la costruzione di manufatti quali parcheggi sotterranei e scantinati. La città metropolitana di Milano è un esempio di questa trasformazione.

Dall'inizio degli anni '90, in seguito ad un'intensa fase di dismissione industriale, l'area dell'odierna città metropolitana di Milano è stata soggetta alla risalita del livello di falda, generando così problematiche di interferenza con le infrastrutture sotterranee (parcheggi, linee metropolitane) (Beretta et al., 2004). Conoscere con precisione l'ubicazione ed il volume delle infrastrutture risulta quindi rilevante per assicurarne una corretta gestione, mediante l'ausilio di modelli numerici di flusso.

2. L'esigenza:

Obiettivo di questo studio è stata dunque la definizione di una metodologia per la costruzione di una banca dati 3D delle infrastrutture del sottosuolo (Figura 2) per la città metropolitana di Milano (Kim and Heo, 2017). All'interno di tale banca dati sono state incluse: occupazione sotterranea di edifici privati (box e scantinati); infrastrutture sotterranee su suolo pubblico (parcheggi pubblici in concessione e parcheggi per residenti); linee metropolitane e passante ferroviario. La banca dati sarà impiegata per un duplice fine: stimare lo stato attuale di occupazione del sottosuolo e valutare le interferenze delle infrastrutture del sottosuolo con la falda, utilizzando modelli numerici di flusso.





Per tale scopo si è stabilito di utilizzare informazioni “open data” così che la metodologia fosse replicabile in qualsiasi altra area di studio. Uno degli open data fondamentali per l’odierna cartografia numerica è rappresentato dal Database Topografico (DbT) della città metropolitana di Milano (portale web “Decimetro”; Davoli, 2019), strumento cartografico di base di ogni comune per la rappresentazione del territorio. Il DbT rappresenta lo stato di fatto del territorio alla data del volo aereo e riporta gli elementi cartografici di superficie ma non l’occupazione delle unità volumetriche nel sottosuolo. Tali informazioni risiedono nel Catasto urbano, cartografia non open data, che rappresenta l’inventario delle proprietà delle unità immobiliari, censendo anche la parte sotterranea degli edifici (box e cantine).

L’integrazione tra DbT e mappe Catastali rappresenterà un passo fondamentale per poter condividere in modo interoperabile le informazioni relative al territorio stesso (Tonelli et al., 2016). L’individuazione dei contenuti informativi condivisi tra DbT e banche dati catastali sarebbe infatti funzionale all’aggiornamento di entrambi i sistemi (Guzzetti et al., 2011), arricchendoli di informazioni per le esigenze gestionali degli enti territoriali. Non potendo contare sulla disponibilità né sull’integrazione tra DbT e Catasto, si è deciso di impiegare solamente il primo per la messa a punto della metodologia in oggetto.

3. La soluzione:

3.1 Occupazione sotterranea di edifici privati (box e scantinati):

Non avendo il DbT nessuna informazione sullo stato di occupazione sotterranea, si è reso necessario ricercare una soluzione alternativa per l’individuazione. All’interno delle specifiche del DbT vi è uno strato informativo chiamato “linee di vestizione”, elementi necessari solo a fini di rappresentazione cartografica; tra questi figurano le linee di rampa. Pertanto, si è partiti dall’assunto che se vi è una rampa di accesso, allora esistono dei volumi sotterranei. Con ArcMap è stata quindi messa a punto una procedura di analisi spaziale, atta a identificare in modo automatico tutti gli edifici limitrofi alle rampe di accesso sotterranee per poi censirli come elementi aventi occupazione di sottosuolo (Figura 1). Ovviamente con tale sistema si riesce ad individuarne l’eventuale occupazione sotterranea ma non il volume occupato.

Pertanto, viste le necessità di carattere modellistico è stata, ad ora, attribuita a ogni elemento una profondità standard di occupazione del sottosuolo di 5 metri.

L’analisi spaziale adottata ha previsto la definizione di una distanza idonea affinché ad una data rampa potesse essere associato l’edificio a lei più prossimo; sono stati compiuti test con differenti distanze, al termine dei quali si è concluso che la distanza ottimale, per la città di Milano, fosse pari a 5 metri. A 11283 edifici su 53041 tra quelli inseriti nel DbT è stata associata un’occupazione del sottosuolo. La distribuzione territoriale mostra la concentrazione di occupazione sotterranea nelle aree urbanizzate dopo la ricostruzione postbellica, in linea con lo sviluppo del tessuto urbano milanese.

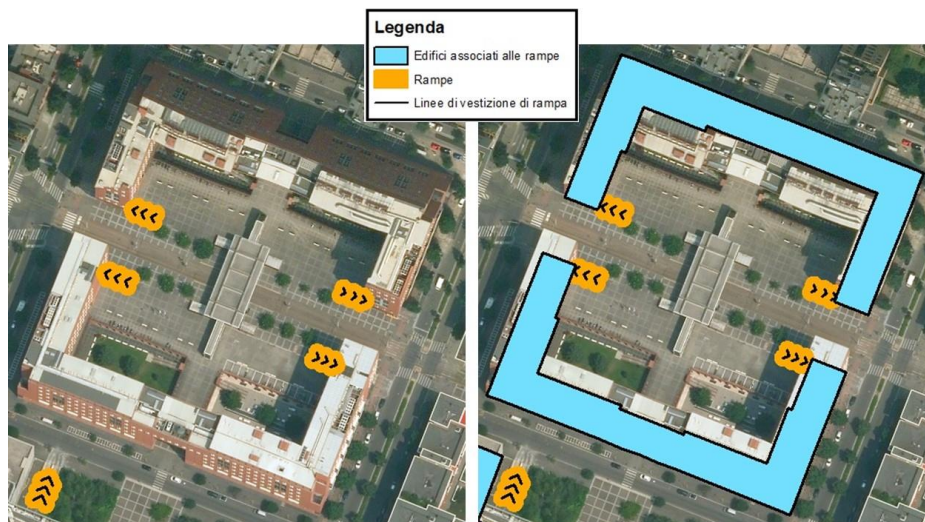


Figura 1: Analisi spaziale per l’associazione tra rampe e edifici.





3.2 Infrastrutture sotterranee su suolo pubblico:

Nel tessuto urbano vi sono parcheggi sotterranei, costruiti su suolo pubblico, che non risultano mappati nel DbT poiché la superficie topografica è attrezzata come “Area verde”, (area a verde pubblico con giardini di copertura). Tale informazione non è esaustiva per una banca dati accurata e si è perciò dovuto procedere con una ricerca integrativa. Si è dapprima ricostruito l’elenco dei parcheggi su suolo pubblico dati in concessione dal comune di Milano (Tabella 1), quindi si è passati alla digitalizzazione manuale del perimetro degli stessi utilizzando i pochi elementi presenti nel DbT (griglie aerazione, vasche antincendio, ascensori di risalita) unitamente ad altre fonti documentali (rassegna stampa, immagini aeree, archivi fotografici pubblici).

L’impiego di questa procedura ha permesso di mappare 118 parcheggi. Essendo caratterizzati da uno sviluppo su più piani, con un impatto volumetrico significativo sul sottosuolo, si è proceduto manualmente al censimento dei piani sotterranei presenti.

Tabella 1. Elenco di alcuni parcheggi presenti in DB e relativa occupazione del sottosuolo.

Località	Municipio	Bando	Piani	Volume (m ³)
Arduino	8	1985	3	62401
Leone XIII	8	1997	2	59163
Washington/Piemonte	7	2002	6	60379
Montemartini/Fabio Massimo	4	2004	2	57250
...				
Sant’Ambrogio	1	Project Financing	5	123502
Totale parcheggi: 118				4709974

3.3 Linee metropolitane e passante ferroviario:

Per quanto riguarda le infrastrutture di trasporto sotterraneo, inizialmente si è provveduto alla verifica dei tracciati presenti nel DbT; le linee metropolitane ed il passante ferroviario sono catalogate come Polyline ZM, in cui però il valore di quota rappresenta il valore del piano campagna (derivato dal DTM). Inoltre, essendo il DbT aggiornato al 2012, non compare la linea M5, di più recente costruzione. Si è reso così necessario integrare queste informazioni preliminari con l’utilizzo dei profili altimetrici di ciascuna linea metropolitana e del passante ferroviario, unitamente a informazioni sul diametro medio delle gallerie di ciascun tracciato che Metropolitana Milanese Spa ha concesso in uso. È stata definita ed eseguita una digitalizzazione di punti quotati lungo i vari tratti di ogni linea per la definizione dei limiti inferiori delle infrastrutture (bottom delle stazioni, dei manufatti di intervento e delle gallerie); da tali limiti, noto il diametro medio della galleria di ciascuna linea e assumendo che tutte le stazioni si sviluppino a partire dal piano campagna, è stato possibile ricostruire gli spessori reali e le profondità di occupazione del sottosuolo (Tabella 2). Tale metodologia è stata strutturata al fine di esportare agevolmente i dati elaborati in un software di modellistica idrogeologica tridimensionale.

Tabella 2. Dati di profondità minima e massima del limite inferiore (bottom) delle stazioni o dei manufatti di intervento di ciascuna linea. La profondità è espressa in metri. NB: La linea M4 è in costruzione.

Linea	Profondità minima	Profondità massima
M1	6.96	17.76
M2	7.05	17.35
M3	6.97	25.05
M4	8.00	30.98
M5	16.58	26.28
Passante	11.55	22.98



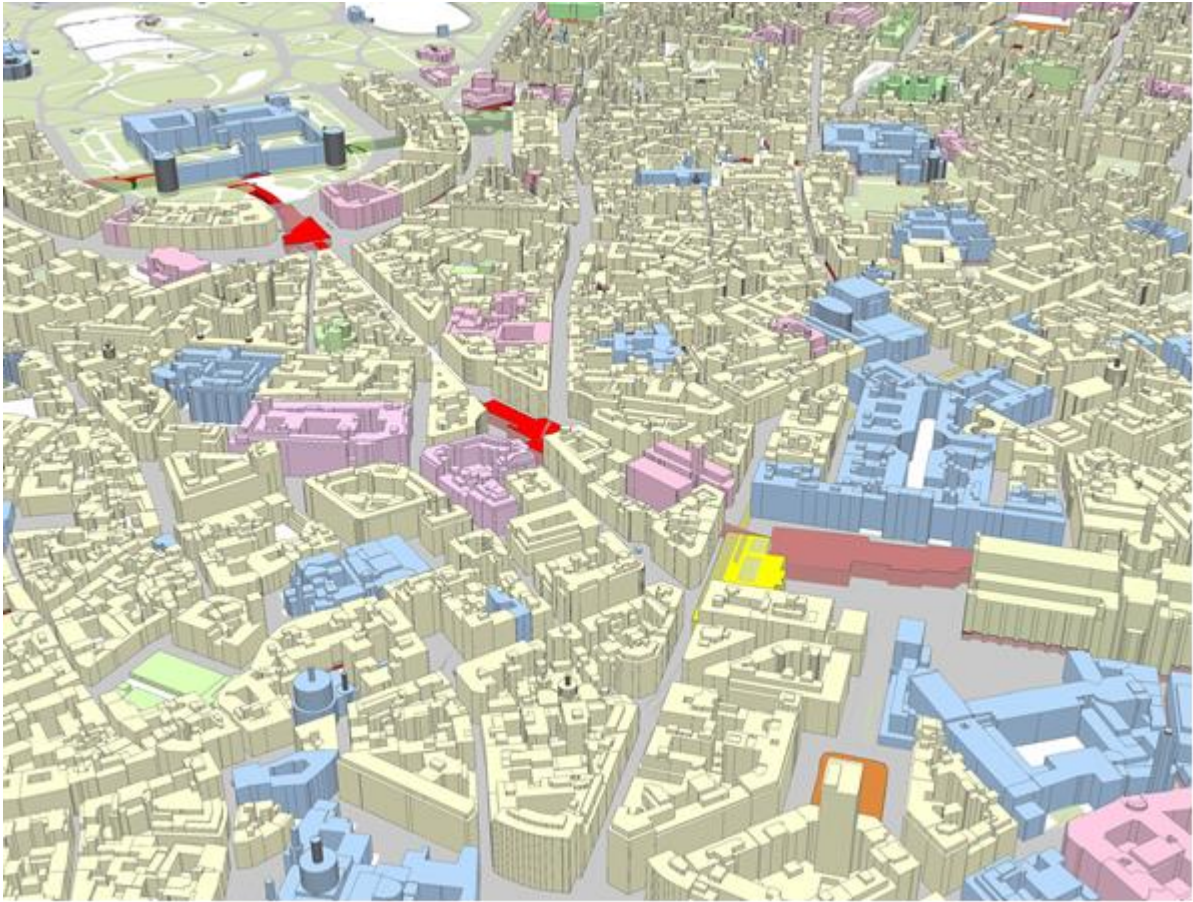


Figura 2: Banca dati 3D della città di Milano.

4. Il cambiamento:

Una delle applicazioni principali della banca dati 3D delle infrastrutture del sottosuolo è stata di integrare tale dato nei modelli di flusso delle acque sotterranee. In particolare, l'obiettivo è stato la valutazione dello stato quantitativo della prima falda della città metropolitana di Milano al fine di una corretta gestione della risorsa da parte delle autorità locali (Vazquez-sune and Sanchez-vila, 1999). La banca dati 3D del sottosuolo, funzionale alla valutazione delle interferenze tra le infrastrutture e la falda, non sarà quindi l'unico elemento inserito all'interno del modello; verranno integrate tutte quelle informazioni funzionali al raggiungimento dello scopo: una banca dati delle pompe di calore ad acqua di falda, utilizzate per scopi geotermici; i pozzi idropotabili della città metropolitana nonché informazioni relative alle volumetrie delle fondamenta dei grattacieli, il cui numero è cresciuto negli ultimi anni a seguito di una rapida trasformazione dello skyline urbano.

La procedura applicata per inserire in banca dati l'occupazione sotterranea di edifici privati (box e scantinati) necessita ancora una fase di affinamento e collaudo. Infatti, alcune verifiche evidenziano una sovrastima di edifici con occupazione sotterranea in quanto si è notato che in alcuni casi vengono classificate come rampe di accesso ai parcheggi sotterranei anche quelle che invece hanno uno sviluppo superficiale (es. rampe di accesso agli edifici per persone diversamente abili). Per contro la metodologia non riesce ad evidenziare quelle rampe di accesso che ricadono all'interno del perimetro dell'edificio e che quindi non risultano visibili nella fase di creazione del DbT. I prossimi obiettivi saranno: il collaudo dei risultati ottenuti e la conseguente eliminazione degli elementi sovrastimati; il completamento delle informazioni mancanti anche sfruttando le informazioni catastali. Ciò consentirebbe di attribuire a ciascun edificio la sua reale occupazione del sottosuolo.

L'applicazione della metodologia, per il comune di Milano, è stata possibile per la completezza di dati del DbT distribuiti dal portale "Decimetro" della città metropolitana. La replicabilità della procedura in altre aree di studio potrebbe dipendere dalla fruibilità e dalla completezza del dato cartografico del DbT.





La distanza di associazione tra la rampa e l'edificio adottata per la città di Milano può non essere idonea per altre realtà urbane, rendendo così necessaria una prima fase di taratura sito specifica.

Per la rappresentazione cartografica della banca dati si è utilizzato il software ArcGIS Pro. L'impiego del software non è però avvenuto con modalità solamente rappresentative dei risultati ma anche in un'ottica previsionale di analisi della miglior collocazione sul territorio di future opere di sottoservizi.

In seguito, verrà adottato un approccio integrato così che le superfici piezometriche ricostruite con modellistica numerica di flusso possano essere visualizzate in ArcGIS Pro per valutare le interazioni con gli elementi della banca dati (Figura 3). L'intento sarà di comprendere le criticità associate a ciascuna di queste infrastrutture sotterranee (allagamenti storici, possibili problematiche future di allagamento), in funzione dell'evoluzione dell'andamento piezometrico.

La banca dati creata, unitamente all'uso di ArcGIS Pro e della modellistica di flusso, permette di affermare come questo approccio integrato rappresenti un valido strumento di supporto a tutti gli Enti (comuni, città metropolitane) che necessitino di conoscere, con tempistiche ridotte, e per molteplici fini (es. gestione di una situazione emergenziale, modellistica tridimensionale) quali e dove siano le infrastrutture sotterranee che insistono sul territorio.

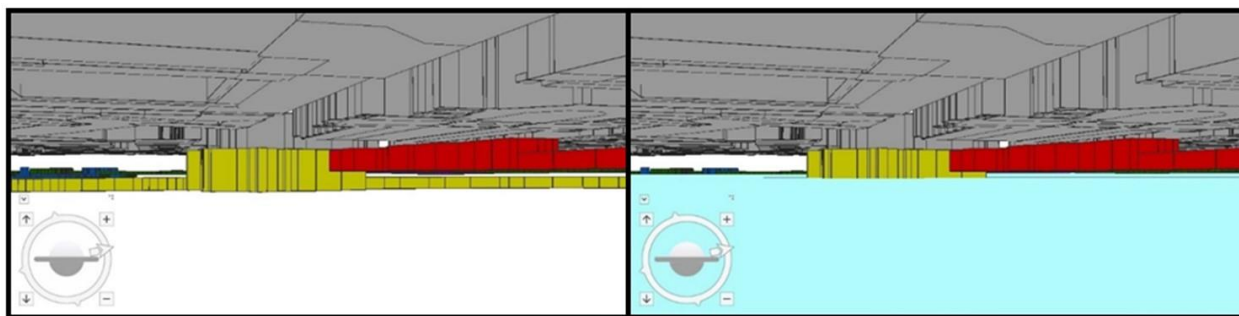


Figura 3: Interazione tra falda e elementi della banca dati nei pressi delle stazioni di Duomo (linea M1 rossa e linea M3 gialla).

Ringraziamenti

Si ringrazia Metropolitana Milanese Spa per la concessione dei dati sui profili altimetrici delle linee metropolitane e del passante ferroviario.

Riferimenti

Beretta, G.P., Avanzini, M., Pagotto, A., (2004). Managing groundwater rise: Experimental results and modelling of water pumping from a quarry lake in Milan urban area (Italy). *Environ. Geol.* 45, 600–608.

Carruthers, J.I., Ulfarsson, G.F., (2003). Urban sprawl and the cost of public services. *Environ. Plan. B Plan. Des.* 30, 203–522.

Davoli, C., (2019). Il Sistema Decimetro : Sistema Decisionale Città Metropolitana.

Freihage, J., Wolman, H., Coleman, S., Ratcliffe, M.R., Hanson, R., Galster, G., (2011). Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and measuring an elusive concept. *Hous. Policy Debate* 12, 681–717.

Guzzetti, F., Capelli, D., Trebeschi, A., (2011). Integrazione tra Database Topografico e mappa catastale: un progetto sperimentale in provincia di Brescia. 24–27.

Kim, S., Heo, J., (2017). Development of 3D underground cadastral data model in Korea: Based on land administration domain model. *Land use policy* 60, 123–138.

Koziatek, O., Dragičević, S., (2017). iCity 3D: A geosimulation method and tool for three-dimensional modeling of vertical urban development. *Landsc. Urban Plan.* 167, 356–367.





Tonelli, E., Guzzetti, F., Baragetti, E., Colombo, P.F., (2016). Un percorso per l' integrazione dei Database Topografici con le informazioni del Catasto dei Terreni nelle zone "a perimetro aperto". 623–630.

Vazquez-sune, E., Sanchez-vila, X., (1999). Groundwater modelling in urban areas as a tool for local authority management : Barcelona case study (Spain). Impacts Urban Growth Surf. Water Groundw. Qual. Proc. IUGG 99 Symp. HS5 65–72.

