

METODI E MODELLI PER IL CONTROLLO DI QUALITÀ DI DATA BASE TOPOGRAFICI MULTISCALA

Daniela CARRION (*), Andrea MAFFEIS (*), Livio PINTO (*)

(*) DIIAR - Politecnico di Milano, P.zza L.da Vinci, 32 – 20133 Milano, tel. 0223996543,
e-mail: [daniela.carrion; andrea.maffeis; livio.pinto]@polimi.it

Riassunto

Negli ultimi anni Regione Lombardia ha periodicamente promosso bandi di co-finanziamento destinati ad aggregazioni di Comuni e finalizzati alla produzione di Data Base Topografici. Occorre tener presente che questi lavori sono i primi che vengono prodotti con nuove specifiche tecniche, emesse da Regione Lombardia ma redatte secondo le disposizioni emerse all'interno di IntesaGIS e contenenti numerose componenti innovative rispetto alle usuali normative per la realizzazione di cartografia numerica.

In questo contesto in questo lavoro si presentano le procedure e le soluzioni operative adottate, soprattutto dal punto di vista dell'automatizzazione del processo, al fine della validazione in corso d'opera delle differenti fasi di realizzazione del DBT.

La metodologia di controllo si basa non solo sulle prescrizioni dei Capitolati Speciali d'Appalto e delle Specifiche regionali, ma si ispira anche alle normative internazionali in materia di qualità dei dati georeferenziati (ISO 19113 e ISO 19114).

Abstract

In the last few years Regione Lombardia has periodically promoted public announcements, addressed to local administrations or to aggregations of local administrations, to co-finance the production of databases with georeferenced and topologically structured data (Data Base Topografici, DBT).

The authors of this paper are taking care of the quality control of the DBT realization for two large aggregations (the first to achieve the Regione Lombardia funds), covering an area of 133000 ha. In this work are presented the procedures and the solutions achieved, in particular regarding the automation of the test and quality control process. It is important to notice that these are the first work that are produced according to the new technical specifications issued by Regione Lombardia. Besides the international standards about the georeferenced data quality control (ISO 19113 e ISO 19114) are taken into account. The procedures have been developed implementing new software, or designing ArcGIS models (using the Model Builder) or simply defining work flows.

Il controllo di qualità in corso d'opera: principi e metodi

Ogni lavoro di produzione cartografica è regolamentato dal relativo Capitolato Speciale d'Appalto e da apposite specifiche tecniche. Ormai da diversi anni è maturato il processo evolutivo che ha portato da prodotti del tipo "Cartografia Numerica" verso i cosiddetti "Database Topografici", per cui i capitolati/specifiche contengono norme e indicazioni appositamente scritte per la fase di strutturazione dei DBT. Per quanto riguarda la Regione Lombardia, a partire dal 2004 sono state emesse delle specifiche tecniche e di contenuto¹ che recepiscono il lavoro svolto da IntesaGIS nell'ambito dell'Intesa StatoRegioni² e ne propongono un modello applicativo. La gran

¹ L'ultima versione delle specifiche è stata approvata con dalla Giunta Regionale con la delibera N. VIII-6650 del 20 Febbraio 2008.

² Specifiche per la realizzazione di Data Base Topografici di interesse generale.

parte dei lavori di produzione cartografica appaltati in Lombardia recentemente utilizzano tali specifiche, con il chiaro intento di ottenere una base cartografica omogenea e armonizzata. Al fine di garantire la congruenza tra il prodotto consegnato e le richieste di capitolato, solitamente è previsto un collaudo formale, che si configura come un controllo di qualità in corso d'opera. Al termine di ogni fase produttiva per poter procedere con il processo produttivo è richiesto che il

relativo controllo di qualità sia positivo.

Nel rinnovato contesto delle produzioni cartografiche, si rende quindi necessario un ripensamento e una ristrutturazione anche per le procedure di collaudo e di controllo formale.

Per quanto riguarda la fase di strutturazione del DBT si devono mettere a punto strumenti che permettano un controllo che non sia solo a campione, ma sulla totalità dei dati. I controlli dovranno innanzitutto verificare che la struttura e la compilazione dei dati sia aderente al modello logico richiesto, ma anche che non ci siano errori per quanto riguarda la componente geometrica o i vincoli topologici.

Infine occorre ricordare che, nell'ottica di produzioni cartografiche multi-scala (1:1000/1:2000 e 1:5000/1:10000), che interessano aree estese di territorio (ordine di grandezza provinciale), non è pensabile procedere a controlli di qualità basati unicamente su ispezioni visive o su verifiche

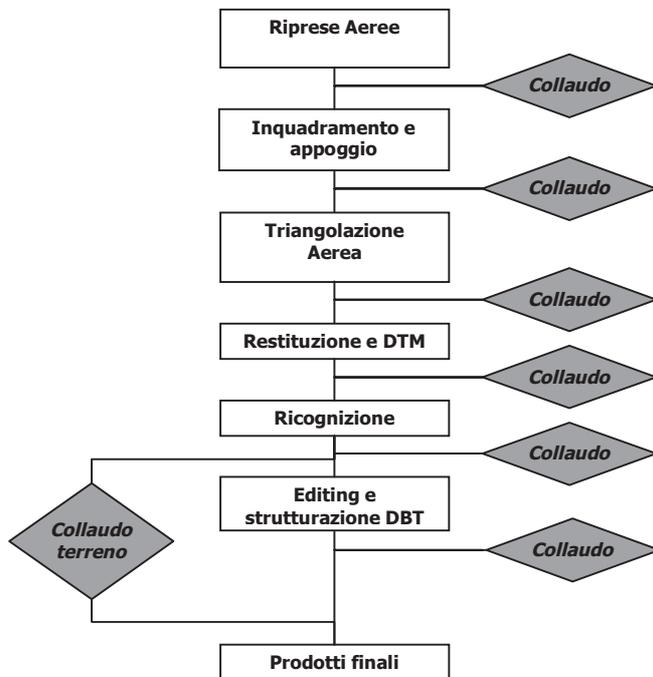


Figura 1 – Fasi realizzative del DBT e relativi collaudi in corso d'opera.

(semi) manuali a campione, anche per quanto riguarda i collaudi delle fasi precedenti la strutturazione del DBT. Perciò, nel presente lavoro vengono trattati i metodi sperimentati dagli autori nel contesto di collaudi cartografici attualmente in corso di svolgimento. In particolare due sono gli esempi che hanno fatto maturare le proposte contenute nelle metodiche di seguito riportate; il primo, avviato nel 2007, è la realizzazione del DBT alla scala 1:1000 (centri storici) e 1:2000 (intero territorio) di un gruppo di 45 Comuni coordinati dalla Provincia di Milano e dal CAAM (Consorzio Area Alto Milanese), 32 dei quali appartengono alla costituenda Provincia di Monza e Brianza (Carrion et al., 2006): la realizzazione è attualmente in atto e se ne prevede la conclusione entro il gennaio 2009; il secondo, anch'esso avviato nel 2007, riguarda la realizzazione giunta al termine (settembre 2008) del DBT a scala 1:10000 (intero territorio) e 1:2000 (centri abitati) per complessivi 110.000 ha circa di territorio della Provincia di Cremona, progetto coordinato dalla Padania Acque S.p.A. Nei paragrafi seguenti, suddivisi per fase di lavorazione -e quindi di collaudo- vengono presentate le metodiche messe a punto finalizzate al controllo di qualità del DBT.

Riprese aeree

Il controllo delle riprese aeree può avvalersi, forse maggiormente che nelle successive fasi, del supporto della tecnologia. Le moderne camere da presa sempre più sono equipaggiate con strumentazione di navigazione IMU/GPS in grado di fornire, unitamente alle singole immagini, anche l'orientamento esterno in modo più o meno approssimato. Inoltre la possibilità di disporre di modelli digitali del terreno (DTM) di tutto il territorio nazionale permette di proiettare i contorni delle immagini direttamente sul terreno verificando la completezza della copertura fotografica e i ricoprimenti di progetto. A tal proposito gli autori hanno realizzato un software denominato *Verifica* e scritto in linguaggio C++, in grado di compiere gli usuali controlli sulle riprese fotogrammetriche

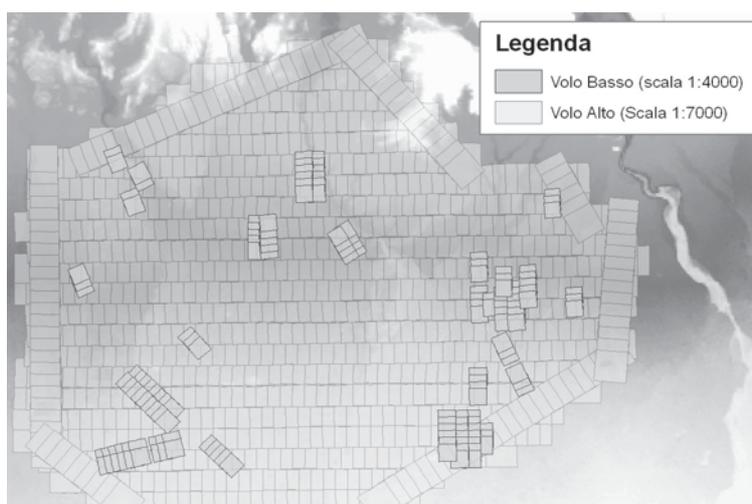


Figura 2 – Output del software di controllo delle riprese aeree (ripresa Provincia di Milano, 2007).

(controllo dei ricoprimenti, della scala minima e massima, degli angoli di assetto e della deriva dei fotogrammi) in modo del tutto automatico. Il programma segnala le zone del DTM non ricoperte nonché tutti i parametri i cui valori risultano esterni agli intervalli preimpostati. Vengono prodotti output di tipo sia numerico che grafico, in formato DXF 3D e in formato GML per una importazione in ambiente GIS e per una immediata visualizzazione sul DTM. Per motivi di brevità si rimanda alla bibliografia (Maffei, Pinto, 2008) l'approfondimento dell'argomento, riportando in figura 2, una immagine di output del controllo della ripresa aerea dell'appalto Provincia di Milano-2007.

Appoggio e TA

La determinazione dell'orientamento esterno (OE) delle singole immagini è fase tra le più delicate di tutto il processo fotogrammetrico: da essa infatti dipende la validità geometrica del processo e la corretta individuazione del *datum* adottato per la produzione del DBT. Dal punto di vista realizzativo attualmente ci si avvale quasi esclusivamente di procedure di Triangolazione Aerea di tipo Automatico (TAA): in questo caso il prodotto finale del calcolo di compensazione è la lista dei parametri di OE delle immagini che verranno direttamente imposti nei restitutori fotogrammetrici. I software commerciali forniscono output esaustivi sia per quanto riguarda i risultati (OE) che per i relativi controlli di qualità (sqm dei parametri stimati).

Solo di rado vengono ancora determinate le coordinate dei punti di legame direttamente osservati dall'operatore per consentire l'orientamento assoluto dei singoli modelli.

Per quanto concerne il sistema di riferimento occorre ricordare che le recenti specifiche prescrivono che nel DBT siano da adottare le coordinate UTM-WGS84-ETRS89, congruenti con le coordinate dei punti di appoggio sia terreno che aerei realizzati con GPS. Questi ultimi provengono dal trattamento cinematico del GPS posto a bordo dell'aeromobile, molto spesso associato ad un apparato inerziale per fornire i valori dell'O.E. delle immagini.

L'analisi dei residui di compensazione sui parametri stimati dà un riscontro sulla qualità dei dati e del loro trattamento: infatti residui di tipo sistematico sono indice di presenza di errori nella calibrazione dei sensori (in particolare quelli aviotrasportati) o nel trattamento delle misure. Per mettere in evidenza tali errori è buona norma che alcuni punti di appoggio siano svincolati nel calcolo ed utilizzati come punti di controllo.

L'utilizzo del GPS consente di verificare in modo oggettivo la realizzazione delle misure: è infatti possibile verificare i tempi di stazionamento (data e durata) ed eventualmente ripetere il calcolo della rete con differenti configurazioni di misure e/o software di calcolo. E' da sottolineare che la presenza di reti di Stazioni Permanenti facilita la misura discreta o continua di punti di controllo. In alternativa le reti statiche diffuse sul territorio (rete IGM95 o suoi raffittimenti) consentono il riattacco al *datum*.

Restituzione e DTM

Al termine della fase di restituzione è richiesto che venga ripetuta, in maniera totalmente indipendente, la restituzione per alcuni elementi (ritenuti un insieme statisticamente significativo) in modo tale da poterli confrontare con la restituzione da collaudare.

È stata messa a punto dagli autori una procedura, implementata poi con il “Model Builder” in ArcGIS, che permette di ottenere automaticamente il valore dello scostamento tra gli elementi ripetuti ed originali.

Il primo passo è la selezione (sia nella restituzione originale che in quella ripetuta) dei soli layer relativi ad elementi fisici facilmente riconoscibili e determinabili, per esempio edifici e manufatti. Quindi si trasformano tutti i vertici degli elementi selezionati in un tema di tipo puntuale con le coordinate X,Y, Z memorizzate nella tabella degli attributi. Infine si identifica per ogni vertice della restituzione ripetuta l'omologo vertice nella restituzione originale, calcolando lo scostamento nelle tre direzioni. Per l'identificazione degli omologhi, supponendo che gli elementi si trovino ragionevolmente vicino, è sufficiente adottare un criterio di massima vicinanza, imponendo eventualmente una distanza limite entro cui cercare i punti.

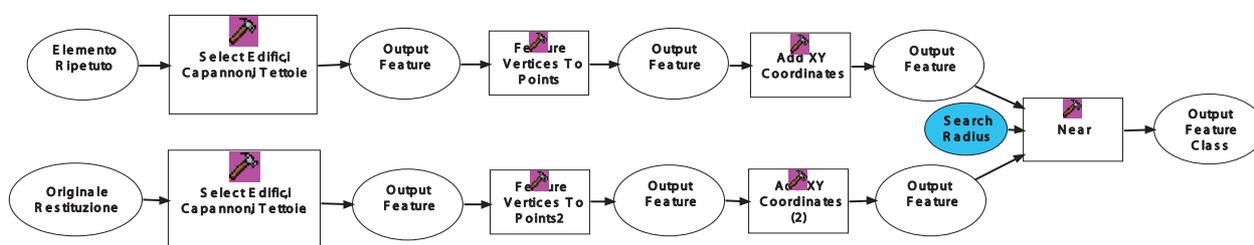


Figura 3 - Schema del modello implementato per il calcolo dello scostamento tra punti omologhi

Durante la fase di restituzione vengono acquisiti anche tutti quegli elementi che sono necessari per la generazione del DTM. Ad esempio nelle ultime versioni del capitolato di Regione Lombardia è richiesto che siano forniti solo i punti quotati e *breakline* che insieme a tutti gli elementi “appoggiati” al suolo rappresentano i dati di input per la generazione del DTM, demandata ad operazioni esterne alla produzione del DBT. Tuttavia in molti lavori di produzione cartografica è richiesto dalle specifiche che il DTM sia consegnato quale prodotto dell'appalto (in formato TIN o Grid), al pari del DBT o di altri prodotti quali le ortofoto; in questo caso è opportuno che si prevedano delle apposite procedure di verifica.

Di seguito si presentano delle procedure automatiche sperimentate per il collaudo di un DTM grid di tipo “Level 3”. Tali procedure sono implementate a monte del collaudo sul terreno.

Si è pensato di verificare la qualità del DTM su un duplice fronte: da un lato confrontando la quota di alcuni elementi restituiti con la corrispondente quota sul DTM, dall'altro verificando il DTM lungo le curve di livello ottenute da una restituzione indipendente (ripetizione di collaudo).

Entrambe le procedure si basano sulle seguenti operazioni:

- **Selezione:** vengono selezionati (con apposite “query” solo gli elementi di interesse).
- **Normalizzazione:** Tutti i vertici degli elementi selezionati vengono convertiti in punti e tra gli attributi viene memorizzata la quota.
- **Interpolazione:** in corrispondenza di ogni elemento del tema si calcola, per interpolazione bilineare, la corrispondente quota sul DTM riportandola nella tabella degli attributi.

Infine per ogni punto si calcola semplicemente lo scostamento tra “quota DTM” e “quota restituzione” registrandone il valore numerico.

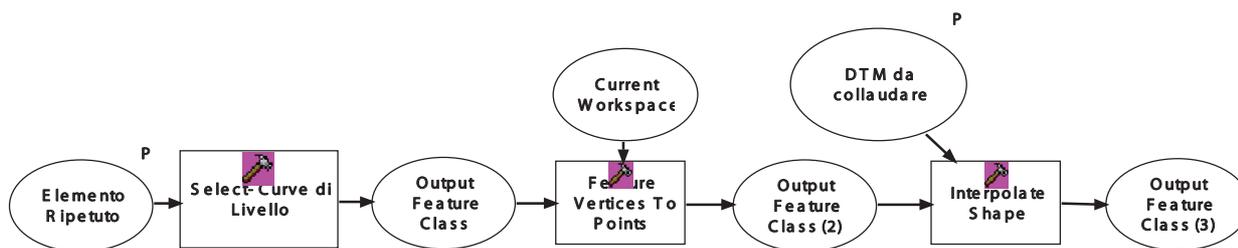


Figura 4 – Schema semplificato del Modello implementato per il controllo del DTM

Grazie al “Model Builder” di ArcGIS è stato possibile implementare dei modelli che consentono di automatizzare le procedure descritte.

Ricognizione

Così come si dirà per il collaudo finale sul terreno, anche la fase di ricognizione poco si presta all’implementazione di modelli, che pur ampliando il campione controllato, ne automatizzano nel contempo lo svolgimento. E’ comunque da considerare che questa fase ha una rilevanza che aumenta con la scala della carta: se quindi per la scala 1:5000 - 1:10000 l’integrazione da realizzare sul terreno è tipicamente informativa (riguardante la toponomastica, l’uso del suolo e i limiti amministrativi), per le scale 1:1000 – 1:2000 spesso si deve integrare la restituzione anche con misure dirette sul terreno (per il rilievo di particolari defilati nella presa, coperti da vegetazione, per la sgrondatura degli edifici, ecc). Per non creare confusione sovrapponendo informazioni differenti, le specifiche richiedono che in tutti i casi i documenti da presentare a collaudo siano due: una minuta di ricognizione per l’integrazione metrica e una per quella informativa, e la validazione di quest’ultima può essere fatta (tramite timbro e firma) dai tecnici comunali, unici veri conoscitori del territorio.

Nei due appalti che sono in fase di collaudo con le specifiche di Regione Lombardia, per il conteggio degli errori sono state validamente utilizzate tabelle nelle quali le inesattezze vengono distinte tra errori di completezza (omissione o immissione) ed errori di accuratezza tematica. Inoltre è tornato molto utile evidenziare sulle minute di restituzione tutte le zone segnalate come “zone di incerta o difficoltosa restituzione e/o identificazione”, verificando su di esse i risultati della ricognizione.

L’onere del controllo è maggiore se al DBT vengono integrati in modo georeferenziato anche accessi e numeri civici. In questo caso è possibile verificare con semplici *query* in ambiente GIS la corrispondenza tra edifici e le entità puntuali degli accessi e dei numeri civici, concentrando i controlli dove le corrispondenze sono mancanti o dubbie.

Editing e strutturazione DBT

Il controllo di qualità per quanto riguarda il DBT è sostanzialmente incentrato sulla verifica della congruenza logica dei dati prodotti, in pratica si tratta di valutare il grado di aderenza dei dati e delle relazioni tra di essi agli schemi logici definiti a priori. Per questo controllo si introducono alcuni principi che non erano contemplati nei tradizionali metodi di collaudo: innanzitutto è necessario verificare l’intera base dati e quindi non solo un set di oggetti scelti a campione. Quindi, non sono ammesse incongruenze gravi, nemmeno in una percentuale minimale.

Di conseguenza è necessario predisporre procedure a tappeto per accertarsi che i diversi aspetti dei prodotti consegnati (sia quelli puramente geometrici sia quelli di tipo alfanumerico) siano conformi al modello logico previsto.

I controlli di congruenza logica, si possono suddividere nei seguenti parametri:

- **Congruenza di formato:** con questo controllo si verifica, innanzitutto che il formato fisico di consegna sia quello previsto dalle specifiche/capitolato. Le specifiche di Regione Lombardia prevedono che il formato di consegna sia lo shapefile (per ogni classe un file) e la tipologia

delle geometrie sia di tipo 3D (PointZ, Poly ineZ, PoligonZ). Successivamente si verifica che per ogni classe sia presente una tabella alfanumerica associata i cui nomi dei campi ed il *DataType* siano quelli previsti dalle specifiche di contenuto. Sono presenti alcuni campi per cui è prevista l'obbligatorietà della valorizzazione, per cui si identificano eventuali istanze con valori nulli. Infine, è richiesto che le primitive geometriche delle classi poligonali e lineari siano semplici, per cui si verifica che nessuna *Feature* contenuta nel DBT sia del tipo *Multi-part*.

- **Congruenza di dominio:** per congruenza di dominio si intende che i valori che popolano le istanze del DBT siano tra quelli previsti dalle specifiche/capitolato. Per i valori di tipo numerico si verifica l'appartenenza ad un determinato *range*, mentre per gli altri si verifica l'appartenenza al relativo dominio enumerato.
- **Congruenza geometrica:** un controllo fondamentale per un DBT è la congruenza geometrica, ovvero che le primitive geometriche di ogni *Feature* non presentino anomalie come ad esempio vertici doppi, auto-intersezioni, orientamento dei poligoni errato, etc.
- **Congruenza topologica:** come controllo conclusivo si verificano che i vincoli topologici tra le entità siano rispettate: in particolare si verifica la disgiunzione tra oggetti della stessa classe, tra oggetti di classi non sovrapponibili, la completa copertura del territorio da parte delle classi areali previste, la connessione degli elementi che compongono i grafi.

Collaudo finale sul terreno

Anche nella realizzazione dei DBT il controllo diretto sul terreno è l'atto con il quale si convalida in modo indipendente la veridicità dell'informazione geometrica e semantica contenuta nel *database*. Questa operazione viene realizzata a campione su una percentuale definita di territorio (generalmente il 5%). La semplicità di utilizzo del GPS (in particolare se impiegato in modalità RTK e se connesso ad una rete GPS di Stazioni Permanenti di servizio quale quella gestita in Regione Lombardia da IREALP) può certamente aiutare ad aumentare il campione di confronto nonché a garantire il controllo 3D di ciascun punto misurato; operando poi col GPS in modalità cinematica (meglio se montato su veicolo) si può controllare diffusamente la quota degli assi stradali.

Per queste operazioni è possibile utilizzare le stesse modalità di controllo già viste nella fase di Restituzione e DTM.

Conclusioni

Tenendo conto della specificità di ogni singola produzione cartografica, le soluzioni operative proposte non ambiscono ad essere universalmente valide, piuttosto si configurano come un valido ausilio opportunamente adattabile ad una serie di controlli di qualità. A seconda della tipologia di controlli e dei dati di partenza, si sono individuati degli strumenti idonei per eseguire i controlli: implementazione di appositi software, progettazione di modelli in ArcGIS (con il Model Builder) o più semplicemente la definizione di flussi di operazioni da eseguire.

Con ciò gli autori non ritengono di aver risolto il *gap* esistente tra coloro che realizzano il prodotto cartografico e coloro che per contratto sono deputati al controllo dell'operato di chi realizza, *gap* che a volte sembra incolumabile e a volte inesistente. Certamente però si è cercato di fornire, alla luce delle potenzialità che i software GIS consentono, delle procedure di controllo il più possibile analitiche, complete e per questo condivisibili.

Bibliografia

Carrion D., Maffei A., Migliaccio F., Pinto L., "Aspetti tecnici della progettazione di un Database topografico multirisoluzione", *Atti del Convegno Nazionale SIFET*, Arezzo, 27 – 29 Giugno 2007.

Maffei A., Pinto L., "A software package to check aerial block from GPS/IMU-assisted cameras", *Proceedings of the XXI ISPRS Congress*, Beijing, 2008 July 3-11.

IntesaGIS - Comitato Tecnico di Coordinamento, Specifiche per la realizzazione di Data Base Topografici di interesse generale – In1014 Linee guida per l'implementazione.

UNI EN ISO 19113:2005 – Quality Principles

UNI EN ISO 19114:2005 – Quality evaluation

Regione Lombardia, Specifiche Tecniche aerofotogrammetriche per la realizzazione del Data base topografico alle scale 1:1.000 e 1:2.000, Versione 3.0 Dicembre 2007.

Regione Lombardia, Specifiche Tecniche aerofotogrammetriche per la realizzazione del Data base topografico alle scale 1:5.000 e 1:10.000, Versione 3.0 Dicembre 2007.

Regione Lombardia, Specifiche di contenuto e schema fisico di consegna del Data base topografico, Versione 3.0 Dicembre 2007.

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato finanziato all'interno del programma nazionale di Ricerca "PRIN 2006" dal Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica, coordinato a livello nazionale e locale dal prof. Fernando Sansò del Politecnico di Milano.

Si ringraziano inoltre, la provincia di Milano e il CAAM, nella persona del Direttore Generale architetto Stefano Bellinzona, nonché la Padania Acque S.p.A., nella persona del responsabile di progetto geometra Carlo Malvezzi, per aver messo a disposizione i dati.

