

# PROCEDURE NUMERICHE PER L'OMOLOGAZIONE DI MAPPE CATASTALI INFORMATIZZATE. APPLICAZIONE ALLE MAPPE CATASTALI DEL COMUNE DI CALCINATE (BG)

*Elisa Zanchi\**, *Giuseppe Lenzi\*\**

## 1. LA MAPPA CATASTALE, LE SUE PATOLOGIE, UNA POSSIBILE TERAPIA

Vengono presentati di seguito i risultati di una lunga sperimentazione finalizzata al raddrizzamento di mappe catastali informatizzate e la generazione di un impianto cartografico catastale corretto. Ispiratore e sostenitore di questo studio è stato il topografo geom. Giorgio Zanchi, scomparso nell'estate del 2012 e alla cui memoria è dedicata la partecipazione al Convegno di Sassari (Fig. 1).

Le tecniche messe a punto durante la sperimentazione (in parte mutate da metodologie applicate in altri campi) sono risultate promettenti e, anche se il problema rimane comunque aperto, rappresentano una ragionevole piattaforma di discussione per promuovere ulteriori studi.

Sono stati presi in considerazione due differenti algoritmi numerici, uno più adatto per le mappe catastali a perimetro chiuso, l'altro per le mappe a perimetro aperto.

Entrambi gli algoritmi possono essere applicati a mappe informatizzate sia di tipo raster che vector.

L'algoritmo messo a punto per le mappe a perimetro chiuso, chiamato "analitico", tratta la mappa nel suo complesso, assumendo che le deformazioni siano descrivibili da semplici funzioni valide per tutta la mappa.

Il primo risultato dell'applicazione dell'algoritmo alla mappa è una rettificazione su se stessa. La mappa poi potrà essere ulteriormente corretta "stirandola" su una moderna base cartografica fotogrammetrica.

Il secondo algoritmo invece, chiamato "locale", insegue, nella mappa a perimetro aperto, le deformazioni che variano, anche repentinamente, zona per zona; non è possibile definire regole generali sulla mappa per descrivere tali deformazioni.

L'algoritmo richiede pertanto una grande quantità di punti di controllo ben distribuiti, a differenza di quello "analitico" per il quale invece sono necessari pochi punti opportunamente piazzati.

\* *Studio Tecnico di Ingegneria Civile & Ambientale.*

\*\* *mmm.vedolarotta.it.*



Fig. 1. Giorgio Zanchi, topografo geometra, scomparso nell'estate 2012.

Aldilà della tecnica utilizzata riteniamo tuttavia che le finalità più importanti di un processo di raddrizzamento siano:

- a) Correggere globalmente l'impianto cartografico originale per generarne uno quanto più possibile aderente alla realtà;
- b) Mantenere traccia di tutte le fasi dell'elaborazione numerica: dati di origine, algoritmo utilizzato, parametri o coefficienti di calcolo, risultati intermedi, statistiche...

Viene presentato infine il risultato dell'applicazione delle tecniche sopra descritte alle mappe catastali del Comune di Calcinate (BG).

## 2. ANALISI DELLA CARTOGRAFIA CATASTALE STORICA, ALGORITMI E METODOLOGIE DI CORREZIONE

L'uso pratico e quotidiano della cartografia catastale e il suo continuo riscontro sul territorio tramite l'impiego delle moderne tecniche topografiche e aerofotogrammetriche, ne ha messo in luce l'evidente inadeguatezza nel rispondere alle esigenze urbanistiche sempre più complesse e nell'esigenza operativa di individuare sul terreno la proprietà. Spesso le informazioni derivate dalla cartografia catastale sono inattendibili e pertanto inutilizzabili per gli scopi pratici, principalmente a causa di alterazioni, anche importanti, della cartografia stessa. A tal proposito sono state individuate diverse cause di deformazioni delle mappe catastali cartacee.

Nel processo stesso di generazione della mappa, rilievo, risiede la prima fonte di errore. Molte mappe catastali ancora in uso hanno un'origine molto antica; le limitazioni della strumentazione allora disponibile in primo luogo, ma anche l'esecuzione del rilievo stesso condotto il più delle volte in tempi diversi e da operatori diversi sono fra le principali fonti di distorsione.

L'usura dovuta al tempo e l'utilizzo ormai secolare delle mappe contribuiscono in larga misura alla perdita della loro qualità ed integrità; cattiva conservazione, ambienti umidi, sbalzi termici.

Infine, il processo di informatizzazione, cioè la trasformazione delle mappe in formato digitale è essa stessa un'operazione non esente dall'introdurre deformazioni. I dispositivi scanner normalmente utilizzati tendono a introdurre stiramenti. Al fine di ridurre questo problema sono state introdotte tecniche molto simili alla fotogrammetria, digitalizzando la mappa tramite una serie di fotoriprese contigue ad alta risoluzione.

Una volta comprese le cause del "cattivo stato di salute delle mappe" si è cercato di classificarne le patologie. Un attento studio delle mappe catastali disponibili ha messo in luce due principali categorie di deformazioni:

a) Di tipo "globale": la mappa mostra deformazioni tendenzialmente regolari; queste deformazioni, anche se variabili da punto a punto sono tuttavia "modellabili" con leggi semplici, valide per tutta l'estensione della mappa.

b) Di tipo "locale": le deformazioni presenti nella mappa sono molto irregolari; direzione, verso e intensità delle deformazioni possono cambiare anche repentinamente sorvolando la mappa; non è possibile determinare una legge in grado di descrivere tali deformazioni.

Dalle risultanze dello studio delle possibili cause delle deformazioni, queste ultime sono state classificate in funzione appunto della loro origine:

a) generazione della mappa: il processo stesso di generazione della mappa ha introdotto imprecisioni ed errori, in parte dovuti all'utilizzo della strumentazione disponibile al tempo (tavoletta pretoriana, triplometro), in parte dovuti ad errore umano;

b) usura: il trascorrere del tempo, la non adeguata conservazione e il frequente utilizzo hanno introdotto importanti deformazioni sulla mappa: strappi e rattoppi, dilatazioni termiche o derivate da umidità;

c) processo di informatizzazione: stiramenti e rotazioni sono le possibili deformazioni indotte dall'utilizzo di dispositivi del tipo scanner utilizzati per la trasformazione delle mappe da supporto cartaceo a supporto digitale.

Il semplice principio base del processo di raddrizzamento delle mappe catastali informatizzate consiste nell'individuare inequivocabilmente sulla mappa punti di controllo dei quali risulti nota con precisione la corrispondente posizione reale; quest'ultima può essere derivata da una cartografia moderna o da un rilievo diretto sul terreno (Fig. 2).

Un generico processo numerico di raddrizzamento, forzando le coppie di punti di controllo a sovrapporsi, trascina di conseguenza tutti gli altri punti di mappa verso la posizione "reale".

Il processo numerico di raddrizzamento è una legge che descrive le deformazioni della mappa; i parametri di tale legge sono fissati dai punti di controllo individuati. Se la legge descrive bene le deformazioni e se i punti di controllo sono stati scelti opportunamente, il risultato finale non potrà che essere soddisfacente; la mappa viene trasformata e "adattata" alla realtà.

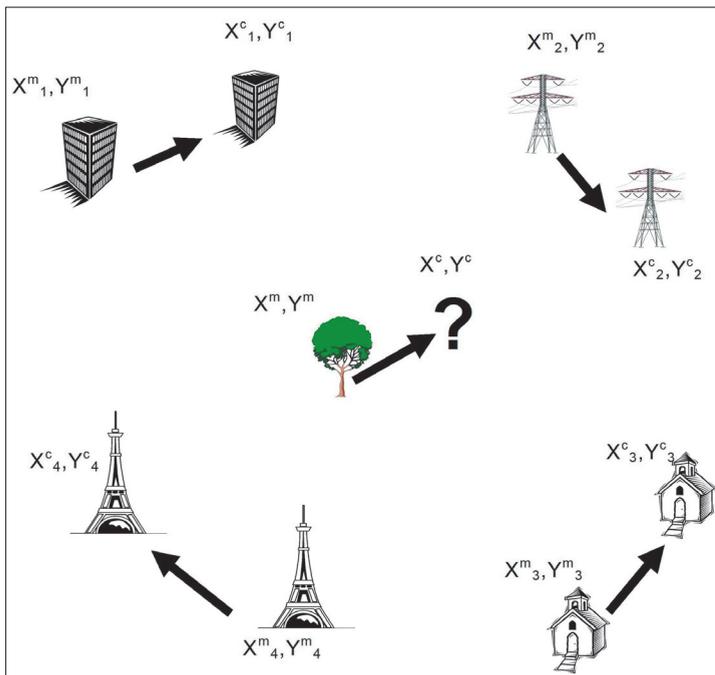


Fig. 2. Schema del processo numerico di omologazione delle mappe catastali informatizzate.

Sono stati presi in considerazione tre differenti tipi di algoritmi di trasformazione, ognuno dei quali adatto ad un particolare tipo di deformazione (Fig. 3):

a) trasformazione prospettica: questo algoritmo, preso in considerazione a titolo di esercizio, ben si presta a correggere le deformazioni appunto prospettiche, tipiche della ripresa fotografica. Qualsiasi testo di fotogrammetria ne riporta i dettagli teorici. Esistono molti software di elaborazione di immagini che realizzano questo genere di trasformazione;

b) trasformazione analitica: talvolta è possibile descrivere le deformazioni di talune mappe tramite funzioni bi-dimensionali; nel nostro caso sono state prese in considerazione funzioni polinomiali in grado di descrivere le deformazioni più macroscopiche: stiramenti mono e bidimensionali, rotazioni, offset.

Trasformazione "locale": talune mappe, in particolare quelle più antiche, presentano distorsioni notevoli, spesso rapidamente variabili; non appare alcuna evidente regolarità nelle deformazioni lungo tutto lo sviluppo piano della mappa; dopo alcuni test è stato deciso di applicare un semplice algoritmo che applica ad ogni punto incognito di mappa una correzione calcolata come segue:

I) si trova un adeguato numero di punti di mappa di controllo più vicini al punto incognito da correggere;

II) si calcolano gli spostamenti subiti dai punti di controllo passando dalla mappa alla realtà;

III) si calcola una media di questi spostamenti;

IV) si applica lo spostamento medio trovato al punto di mappa incognito.

Origine delle deformazioni	Tipo deformazioni	Algoritmo	n. punti di controllo	Tipo Mappa/ immagine
- rilievo errato - età - usura - umidità - sbalzi termici - strappi/rattoppi - scansione	- errori di misura - stiramenti - rotazioni - offset - ?	Prospettico - test $x' = \frac{a_1x + a_2y + a_3}{c_1x + c_2y + 1}$ $y' = \frac{b_1x + b_2y + b_3}{c_1x + c_2y + 1}$	Pochi Distribuiti uniformemente	Ripresa fotografica
		Analitico - polinomiale $x' = f(x, y)$ $y' = g(x, y)$	Pochi Distribuiti uniformemente Lungo il perimetro	A perimetro chiuso
		Locale - media pesata $x' = x + \Delta\bar{x}$ $y' = y + \Delta\bar{y}$	Molti Distribuiti uniformemente Su tutta la mappa	A perimetro aperto

Fig. 3. Applicazione degli algoritmi del processo numerico di omologazione delle mappe catastali informatizzate.

Questo algoritmo funziona bene quando i punti di controllo sono molti e ben distribuiti lungo tutta l'estensione della mappa.

È allo studio un quarto algoritmo che combina gli algoritmi b) e c); in tal caso l'ipotesi di partenza è che le deformazioni, almeno localmente, risultino "regolari", ossia descrivibili tramite semplici funzioni.

Si riassumono di seguito gli algoritmi di trasformazione considerati, in funzione della loro applicabilità alle mappe catastali, alle tipiche deformazioni riscontrate nelle mappe ed al numero di punti di controllo necessari per eseguire correttamente il processo numerico di raddrizzamento:

Trasformazione	Mappa	N. punti di controllo
Prospettica	A perimetro chiuso	- Pochi - Distribuiti +/- uniformemente - Lungo il perimetro
Analitica	A perimetro chiuso	- Pochi - Distribuiti +/- uniformemente - Lungo il perimetro
"Locale"	A perimetro aperto	- Molti - Distribuiti uniformemente - Su tutta la mappa

Gli algoritmi e le procedure numeriche descritti, risultato di un lungo periodo di sperimentazione, rappresentano solo una possibile soluzione al problema (comunque aperto) dell'omologazione della cartografia catastale. Qualunque tecnologia venga adottata dovrà imprescindibilmente mantenere traccia del processo di

omologazione in tutti i suoi passaggi. L'Agenzia Nazionale del Territorio potrà in tal modo controllare il processo di omologazione e collaudarne il risultato finale.

Gli algoritmi descritti, con particolare riferimento alla trasformazione di tipo "locale", si prestano ad una loro applicazione iterativa.

Dopo un primo raddrizzamento eseguito con un certo numero di punti di controllo, il risultato viene esaminato, sovrapponendo la mappa risultante alla cartografia "corretta" (ad esempio quella fotogrammetrica). Il primo "avvicinamento" delle due carte consente l'individuazione o la generazione di ulteriori punti di controllo permettendo quindi l'esecuzione di un secondo raddrizzamento.

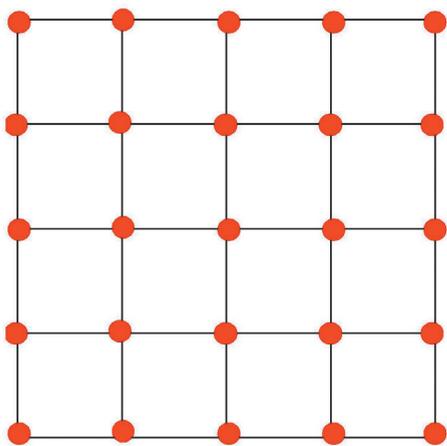
### 3. EFFICACIA (E LIMITI) DELLE METODOLOGIE NUMERICHE APPLICATE PER IL RADDRIZZAMENTO DELLE MAPPE CATASTALI INFORMATIZZATE

L'applicazione sperimentale delle tecniche descritte sia a casi simulati (figure semplici con pochi particolari) che al caso reale (mappe catastali informatizzate) ha dato risultati promettenti dai quali possiamo trarre le seguenti considerazioni (Fig. 4-11):

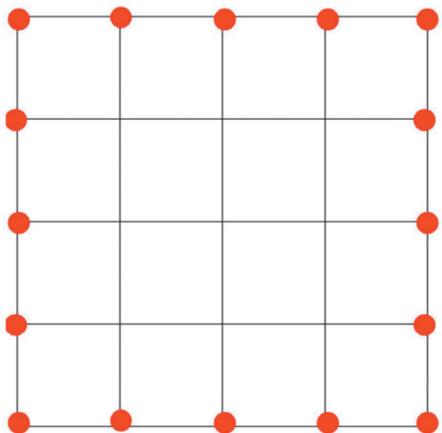
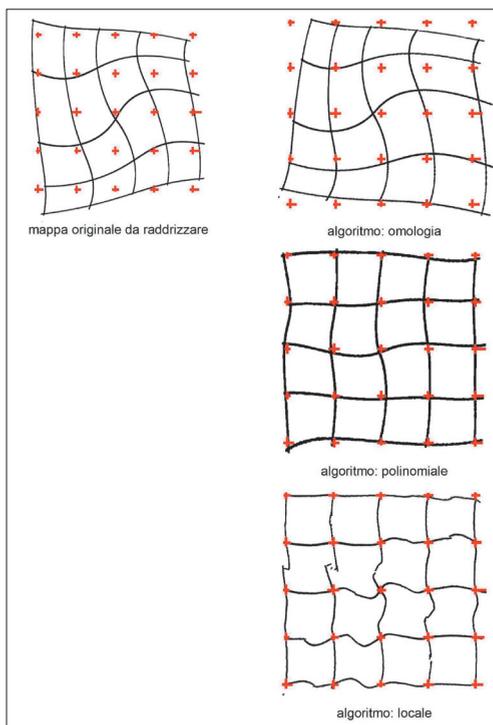
– per deformazioni "regolari" e con la disponibilità di punti di controllo distribuiti su tutta la mappa, gli algoritmi "analitico" e "locale" funzionano entrambi in modo soddisfacente;



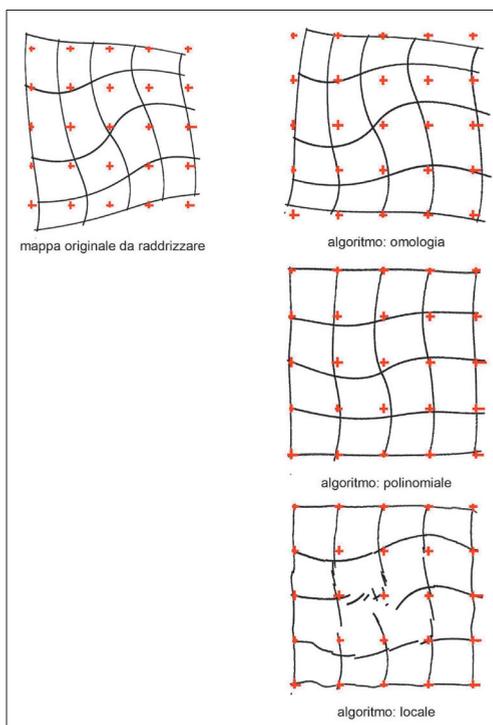
Fig. 4. Efficacia degli algoritmi del processo numerico di raddrizzamento delle mappe catastali informatizzate.



Figg. 5-6. N. 25 punti di riferimento (tutta la griglia).



Figg. 7-8. N. 16 punti di riferimento (punti al contorno).



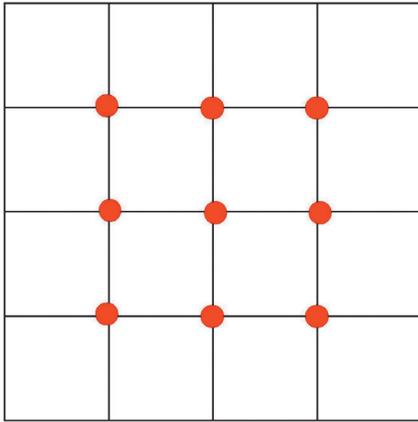


Fig. 9-10. N. 9 punti di riferimento (punti nel reticolo centrale).

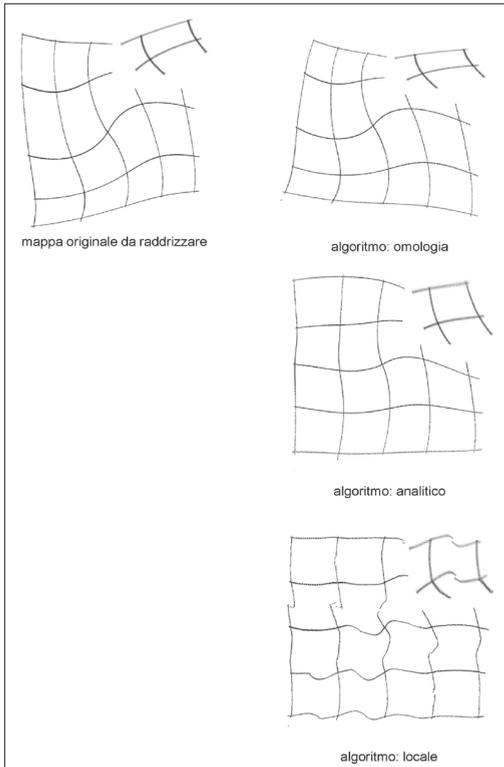
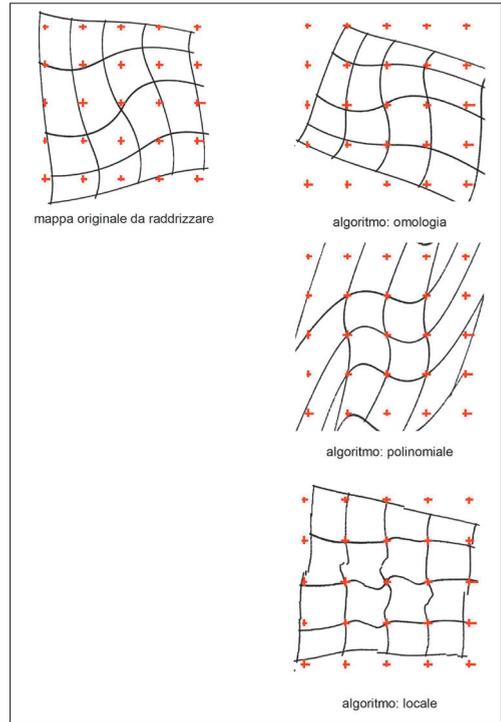


Fig. 11. N. 25 punti di riferimento (tutta la griglia).

– per deformazioni “regolari” e la disponibilità di punti di controllo solamente lungo il perimetro si ottengono risultati soddisfacenti solo applicando l’algoritmo “analitico”; è questo il caso delle mappe catastali a perimetro chiuso per le quali è possibile individuare come punti di controllo solo quelli distribuiti appunto lungo il perimetro; si fa osservare comunque che queste mappe si presentano generalmente bene; talvolta è possibile ottenere già dei risultati interessanti con semplici strumenti di roto-traslazione proposti da numerosi software grafici e CAD commerciali; uno dei vantaggi nell’usare questo algoritmo è che non è indispensabile coprire interamente di punti di controllo il perimetro; ad esempio per alcuni di loro uno strappo della mappa ne può impedire la corretta determinazione; d’altronde il numero dei parametri che definiscono l’algoritmo “analitico” è limitato, per cui non è indispensabile utilizzare tanti punti di controllo,

– nel caso di mappe catastali a perimetro aperto è stato osservato che, disponendo di un adeguato numero di punti di controllo ben distribuiti, l’algoritmo di tipo “locale” è quello che da risultati più realistici,

– in ogni caso la scelta della quantità e qualità (distribuzione) dei punti di controllo (non sempre realizzabile in modo completo) rappresenta l’aspetto più critico del processo di raddrizzamento delle mappe catastali informatizzate,

– interessanti sono stati i primi risultati della sperimentazione del nuovo algoritmo che combina quello “analitico” con quello “locale”; la sua applicazione ha consentito di “sistemare” forti distorsioni altrimenti irrisolvibili usando quelli già descritti.

#### 4. APPLICAZIONE DELLE PROCEDURE NUMERICHE DESCRITTE ALLE MAPPE CATASTALI DEL COMUNE DI CALCINATE (BG)

La messa in pratica delle procedure numeriche esplicate teoricamente nel precedente paragrafo e la promozione delle azioni possibili per la risoluzione di queste problematiche è iniziata nella Provincia di Bergamo nel lontano 1989 con il lavoro di mio padre il geom. Giorgio Zanchi.

La prima esperienza con cui si iniziò a tracciare la strada e ad indicare una metodologia di lavoro fu con la realizzazione e la successiva pubblicazione delle nuove mappe del Comune di Bagnatica (BG), che ora sono in uso da circa 10 anni; successivamente, e tuttora in corso è l’esperienza con il Comune di Calcinate (BG).

È innanzitutto necessario premettere lo stato dell’arte delle mappe catastali per le province lombarde di Bergamo, Lecco, Como, Varese e Brescia, in quanto le mappe del catasto vigenti sono state ereditate dai catasti pre-unitari e nel caso specifico della Provincia di Bergamo in cui svolgo la mia attività, nei 244 Comuni che la costituiscono la situazione è la seguente (Fig. 12):

– per 76 Comuni esistono le mappe a perimetro chiuso eseguite dall’Agenzia del Territorio con rilievi a terra negli anni ’70-’80 e per solo 13 di questi Comuni è avvenuta la pubblicazione e dunque sono vigenti ed in uso;

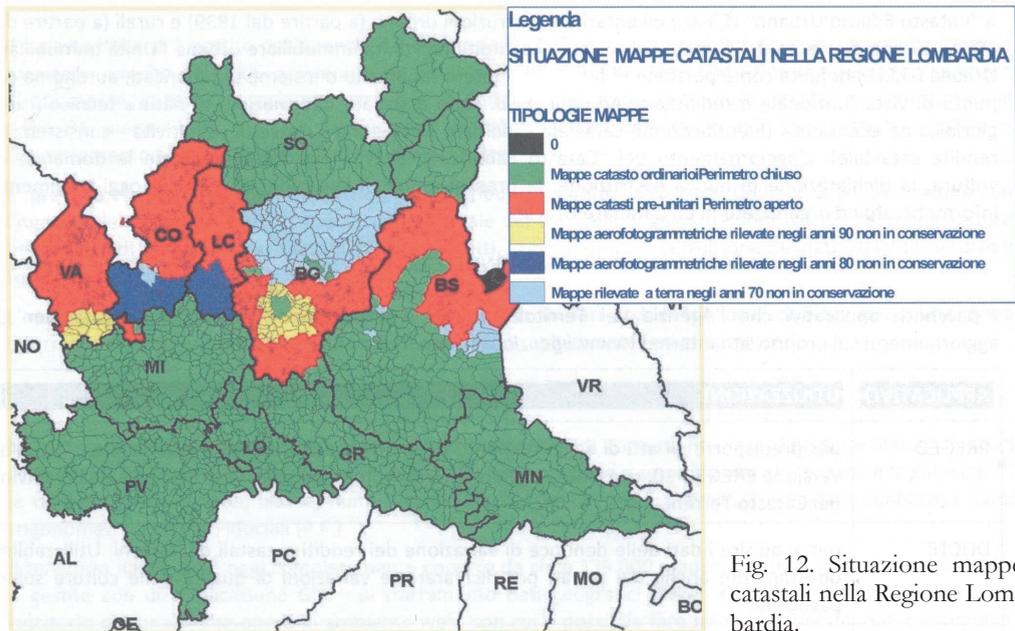


Fig. 12. Situazione mappe catastali nella Regione Lombardia.

- per altri 32 Comuni essenzialmente della cerchia intorno alla Città di Bergamo esistono le mappe a perimetro chiuso eseguite con metodo aerofotogrammetrico negli anni 1990/94, queste però non sono mai state oggetto di pubblicazione;
- per i restanti 232 Comuni Bergamaschi le mappe catastali vigenti ed in uso corrente sono quelle del 1903 a perimetro aperto e questo significa la totale assenza di georeferenziazione e totale difformità dalla realtà territoriale.

È dunque indispensabile e di primaria importanza adottare le misure necessarie affinché le suddette mappe catastali risultino congruenti con la realtà territoriale, in modo che siano effettivamente utili ai cittadini e garantiscano la certezza del diritto (Fig. 13-14).

Con la fattiva collaborazione delle Amministrazioni Comunali che si sono susseguite ed il supporto dell'Ufficio tecnico Comunale si è intrapreso un percorso per l'ottenimento della CARTA UNICA ossia la cartografia tecnica comunale integrata e coerente con quella catastale, il tutto funzionale al raggiungimento degli obiettivi di Regione Lombardia originatisi con l'approvazione del D.G.R. n. 338/2010 "Quadro di riferimento per l'aggiornamento del data base topografico e l'interscambio con le banche dati catastali" (Fig. 15).

La predisposizione delle nuove mappe catastali per la realtà del Comune di Calcinato è stata intrapresa a partire dalla stipula del Protocollo d'Intesa tra il Comune stesso e l'Agenzia del Territorio ed è stato possibile in quanto Calcinato fa parte di quel gruppo di Comuni per cui negli anni '90 furono realizzate le mappe catastali a perimetro chiuso su base aerofotogrammetrica, sinora inutilizzate.



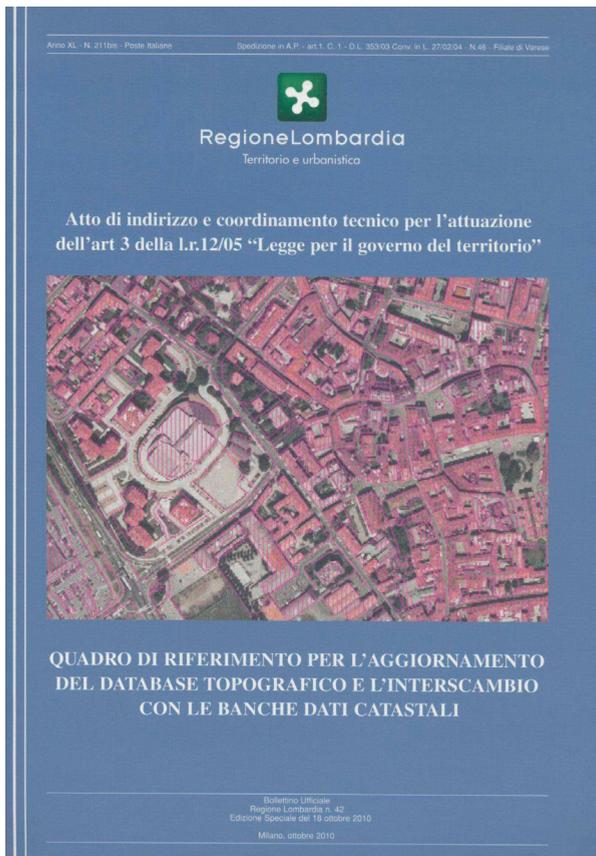


Fig. 15. “Quadro di riferimento per l’aggiornamento del data base topografico e l’interscambio con le banche dati catastali”.

L’intento che l’Amministrazione di Calcinate ha inteso perseguire attraverso la sottoscrizione della Convenzione con l’Agenzia del Territorio è che finalmente anche le informazioni e la cartografia catastale divengano uno strumento di supporto al governo del territorio e a beneficio del cittadino (Fig. 17), poiché l’integrazione tra la cartografia tecnica comunale e quella catastale, ad oggi, sia per ragioni tecniche che organizzative, è ancora un problema irrisolto e sottovalutato (Fig. 16).

Il Comune di Calcinate è una realtà territoriale che complessivamente si estende per circa 15 kmq, mentre quella effettivamente urbanizzata si estende per soli 3 kmq; l’Amministrazione Comunale nell’anno 2008 ha fatto eseguire un nuovo volo aerofotogrammetrico per la produzione della cartografia numerica e dell’ortofotocarta.

Attualmente il Comune di Calcinate per quanto riguarda l’aspetto catastale fa ancora riferimento alle mappe catastali a perimetro aperto del 1903 (Fig. 18) ed è complessivamente rappresentato su 25 fogli (Figg. 19-20), mentre le mappe realizzate nel 1990 hanno un diverso taglio fogli e dunque rappresentano il territorio comunale di Calcinate su 16 fogli (Fig. 21).

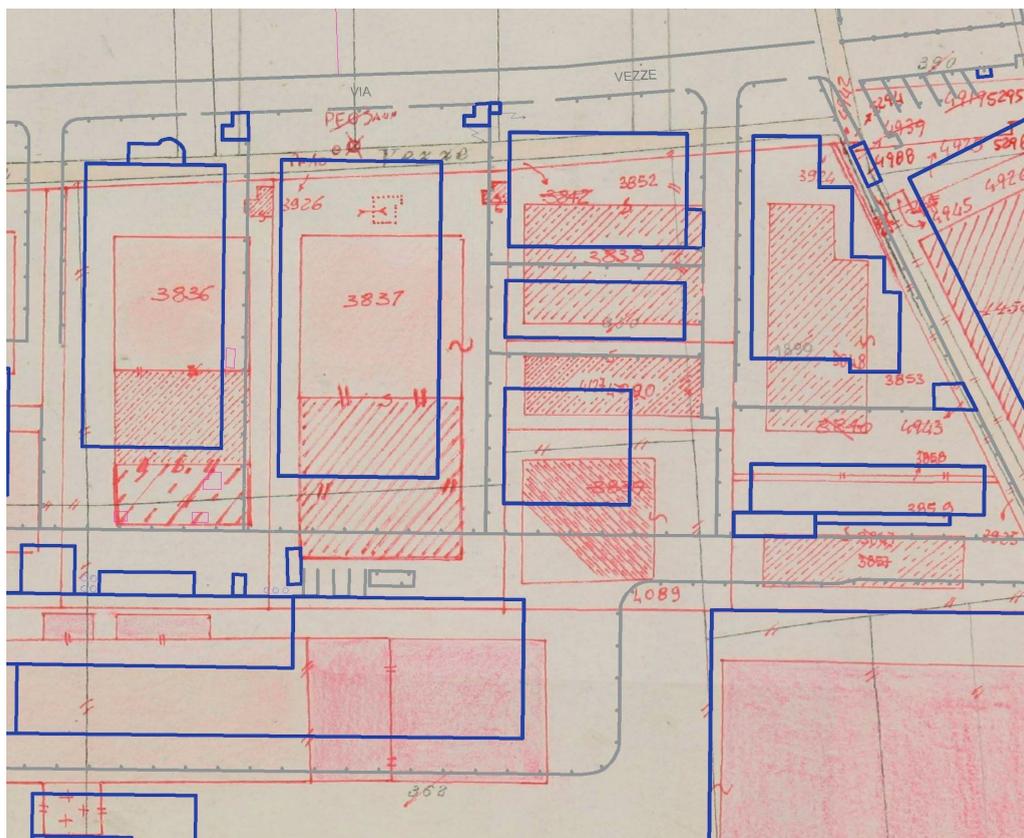


Fig. 16. Comune di Calcinate, mappa catastale.



Fig. 17. Comune di Calcinate, cartografia catastale.

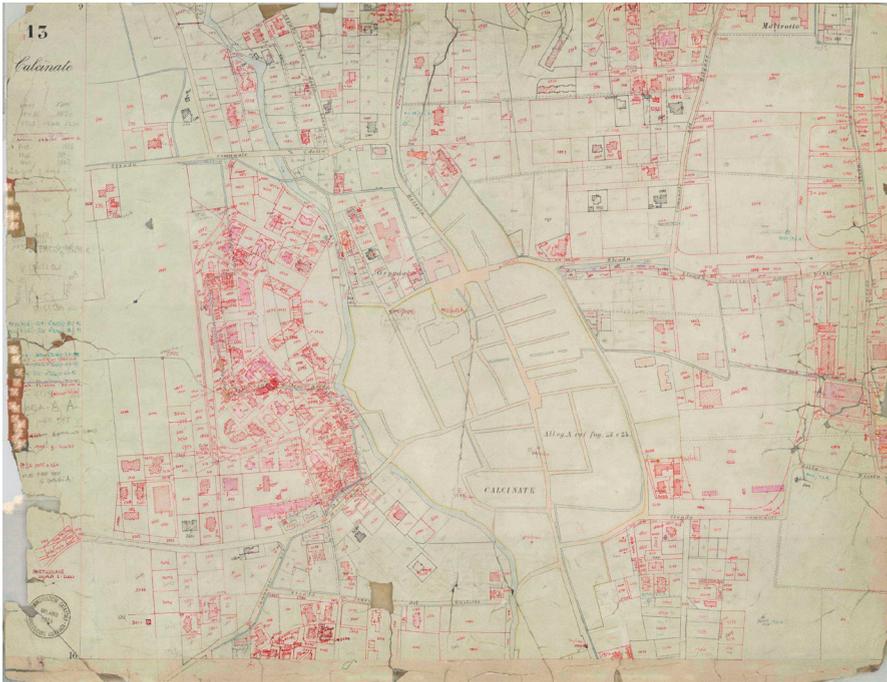


Fig. 18. Comune di Calcinato, mappa catastale, 1903.

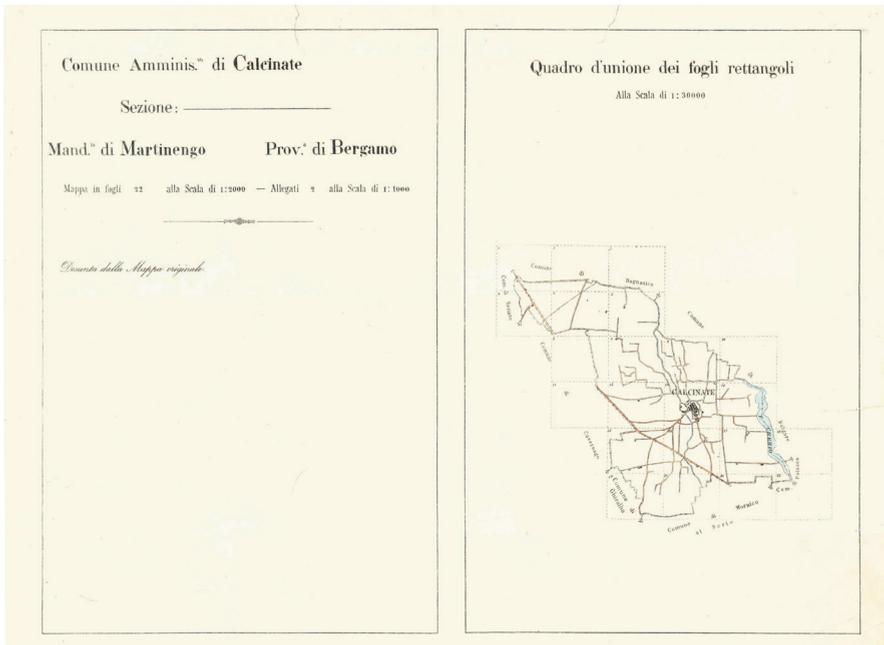


Fig. 19. Comune di Calcinato, mappa catastale, 1903.

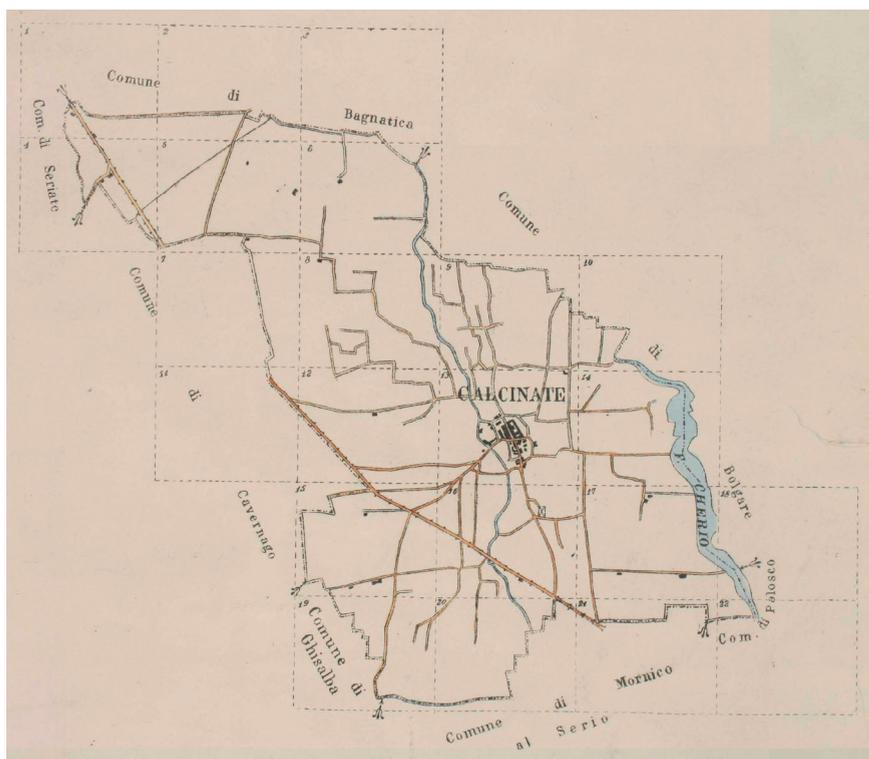


Fig. 20.

Tra i tre supporti cartografici a nostra disposizione, Mappa catastale Vigente a Perimetro Aperto del 1903 (Fig. 22), Mappa catastale su base aerofotogrammetrica a Perimetro Chiuso del 1990 (Fig. 23) e l'Aerofotogrammetrico Comunale/Ortofotocarta del 2008 (Fig. 24), intercorre un ampio arco temporale per cui la realizzazione delle nuove mappe catastali a perimetro chiuso su base aerofotogrammetrica riferite al sistema di coordinate Gauss-Boaga richiedeva l'integrazione delle differenti informazioni contenute in ciascuno di essi.

Applicando i concetti e l'algoritmo introdotto precedentemente dal Dott. Lenzi è dunque possibile ottenere l'adeguamento delle geometrie delle mappe vigenti a perimetro aperto con la realtà territoriale individuata graficamente sull'aerofotogrammetrico attuando i seguenti passaggi:

- creazione di una rete GPS di dettaglio di punti noti del territorio reale desumibili anche nella cartografia catastale;
- vettorializzazione dei supporti cartografici cartacei;
- sovrapposizione della cartografia numerica comunale con le mappe catastali a perimetro aperto del 1903 da cui si osserva la non corrispondenza tra medesimi elementi (Fig. 25);
- sovrapposizione della cartografia numerica comunale con le mappe catastali del 1991 (sovrapponendo queste due rappresentazioni cartografiche si denota



Fig. 21. Comune di Calcinate, mappa catastale, 1990.



Fig. 22.

che lo scostamento tra medesimi elementi è ridotto in quanto entrambi i supporti cartografici sono stati creati a partire da una base aerofotogrammetrica e sono georiferiti.);

- applicazione della procedura di omologazione riferendosi ai punti noti identificati attraverso la rete GPS per cui è possibile ottenere una più adeguata corrispondenza topografica (Fig. 26).

Applicando l'algoritmo di omologazione alla vettorializzazione della mappa vigente a "Perimetro Aperto" e successivamente confrontando la sovrapposizione della vettorializzazione dell'aerofotogrammetrico e della mappa catastale "Prima e Dopo" (Figg. 27-28), è immediatamente riscontrabile un significativo adattamento alla realtà poiché le diverse entità grafiche areali e non che costituiscono le due distinte vettorializzazioni sono pressoché coincidenti e sovrapposte (Figg. 29-30), infatti da una preliminare verifica è immediatamente confutabile quantitativamente confrontando lo scostamento che intercorre tra i punti di controllo impiegati per la procedura di omologazione (Figg. 31-32): si osserva che l'adeguamento ottenuto è pari ad un ordine di grandezza (ad esempio da 20 m a 2 m) (Figg. 33-34).

La realizzazione delle nuove mappe catastali richiede anche l'aggiornamento della Banca Dati; è essenziale avere in prima istanza un supporto cartografico di riferimento coerente con la realtà in modo che il dato informativo possa essere inserito correttamente e definitivamente. Con un supporto cartografico coerente ed univoco a questo punto è possibile sviluppare un Sistema Informativo Territoriale.

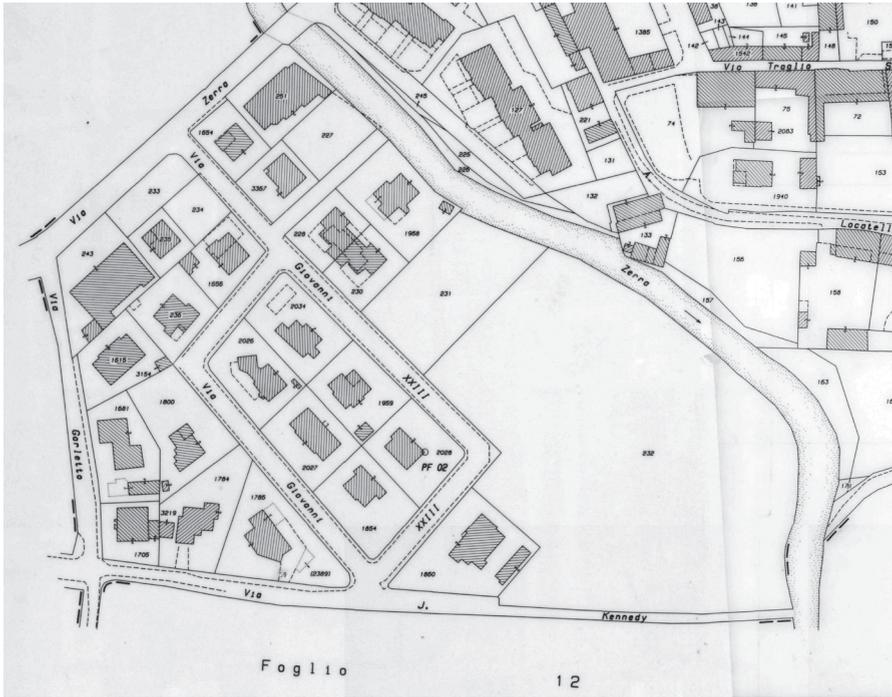


Fig. 23.



Fig. 24.





Fig. 31.



Fig. 32.

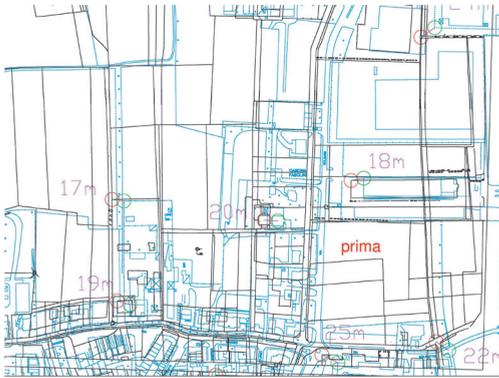


Fig. 33.



Fig. 34.

Non è possibile eseguire tutti i passaggi contemporaneamente e/o continuando solo a sperimentare, occorre iniziare ad applicare gli strumenti e le professionalità che da tempo sono a disposizione senza ulteriori ritardi.

La corretta rappresentazione della situazione catastale al territorio è una componente strategica per la creazione del Sistema Informativo Comunale, “strumento” fulcro per effettivamente fornire un utile servizio al cittadino ed ai tecnici del settore per una corretta gestione integrata del territorio, ma per fare ciò occorre la volontà delle varie Istituzioni ad essere uniti, propositivi e costruttivi per affrontare in modo deciso il problema.

## 5. RINGRAZIAMENTI

– Agenzia del Territorio - Sezione Provinciale di Bergamo: ing. Angelo Iero, geom. Antonino Neri e geom. Ugo Russo.

– Collegio dei Geometri della Provincia di Bergamo: Presidente geom. Renato Ferrari.

– Amministrazione Comunale di Calcinate e Responsabile Ufficio Tecnico geom. Giovanni Ruggeri, geom. Gianloredo Redolfi e Nives Donadoni.

## BIBLIOGRAFIA

- BENCINI P. (1985), *Appunti di Cartografia*, IGM.
- MENKE W. (1984), *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory*, Academic Press, Inc., New York.
- PRESS W.H., TEUKOLSKY S.A., VETTERLING W.T., FLANNERY B.P. (1997), *Numerical Recipes in C*, 2nd Edition, Cambridge University.
- REGIONE LOMBARDIA (2010), *Territorio e Urbanistica, Quadro di riferimento per l'aggiornamento del data base topografico e l'interscambio con le banche dati catastali*, Atto di indirizzo e coordinamento tecnico per l'attuazione dell'art.3 della l.r. 12/05 "Legge per il governo del territorio", Milano, 2010.
- SNYDERS J.P. (1987), *Map projections, a working manual*, USGS.
- ZANCHI G. (2007), *Atti Convegno Nazionale "Il Decentramento del catasto ai Comuni"*, Bergamo.
- ZANCHI G. (2008), *Atti Convegno Cartografia Topografia e Catasto - L'importanza della conoscenza del territorio per la "Certezza del Diritto"*, Albino (BG).