

VERIFICA DELLA CONGRUENZA GEOMETRICA TRA LE MAPPE DI IMPIANTO CATASTALI E L'ATTUALE FORMATO VETTORIALE

VERIFICATION OF GEOMETRIC CONGRUENCE BETWEEN ORIGINAL MAPS OF ESTABLISHMENT AND CURRENT VECTOR BASED MAPS

L. Botta ^a, M. Pepe ^a, G. Prezioso ^a

^aDipartimento di Scienze e Tecnologie – Università degli Studi di Napoli “Parthenope”
Centro Direzionale Is. C4 – Napoli
leonardo.botta, massimiliano.pepe, pina.prezioso@uniparthenope.it

PAROLE CHIAVE: Mappa d’impianto, *Cadastral eXchange Format (CXF)*, georeferenziazione

KEY WORDS: Map of establishment, *Cadastral eXchange Format (CXF)*, georeferencing

RIASSUNTO

Il recente processo d’informatizzazione del patrimonio cartografico catastale ha comportato, in alcuni casi, un decadimento della qualità geometrica delle mappe; infatti, agli errori già presenti sul supporto cartaceo, si sono aggiunte nuove deformazioni legate alle operazioni di scansione, georeferenziazione e vettorializzazione degli originali d’impianto (OI).

In questo lavoro, prendendo in esame diversi fogli del comune di Eboli (SA), è stata verificata la congruenza geometrica tra le mappe d’impianto e quelle vettoriali attuali esportabili dal WEGIS (*Web Enabled GIS*) nel formato CXF (*Cadastral eXchange Format*).

Poiché il suddetto formato non è supportato dai principali software in commercio è stato implementato, in ambiente Java, un *tool* che consente di leggere i file CXF, di manipolare opportunamente le geometrie e le informazioni in esso contenute e, infine, di generare ed esportare i fogli di mappa in formato *shapefile*. Anche se esistono diversi software che effettuano tali operazioni, si è preferito svilupparne un nuovo in Java per costituire una base per una futura implementazione, delle funzionalità sopra descritte, in un servizio web fornito dall’application server WildFly (già noto come JBoss).

In una fase successiva, al fine di confrontare le mappe catastali attuali con quelle d’impianto (disponibili sotto forma di file *raster* non georiferiti), è stato necessario georiferire queste ultime. Tale operazione è stata ripetuta impiegando varie trasformazioni (lineare, polinomiale di secondo e di terzo grado) e, per ciascuna di esse, l’analisi dei residui ha consentito di stimarne la precisione. Dopo ogni singolo processo di georeferenziazione è stato creato, per ogni *raster*, uno *shapefile* di alcune particelle distribuite in modo uniforme nel foglio d’impianto. Ponendo a confronto i due *shapefile* ottenuti, rispettivamente, dalla mappa vettoriale CXF e dalla relativa mappa d’impianto georiferita, è stato possibile valutare gli spostamenti, in direzione nord ed est, e le differenze areali, che le attuali particelle mostrano rispetto a quelle d’impianto.

ABSTRACT

The recent informatization process of the cadastral cartographic heritage has resulted, in some cases, in a worsening of the geometric quality of maps; in fact, new distortions due to scanning, georeferencing and vectorization of the original maps have been added to the errors already inherent the map.

In this work, the geometric congruence between the original maps of establishment and the current vectorial maps exportable from the WEGIS (*Web Enabled GIS*) in CXF (*Cadastral eXchange Format*), has been verified by examining several sheets of the Eboli town (SA).

Since the above format is not supported by the main commercial software products, a Java tool has been implemented, that allows to read CXF files, manipulate appropriately the geometries and the information contained therein and, finally, generate and export the map sheets in *shapefile* format. Although there are several software that perform these operations, it was decided to develop a new in Java to provide a basis for future implementation, of the functionalities described above, in a web service provided by the application server WildFly (formerly known as JBoss).

At a later stage, the actual maps of establishment (available as non geo-referenced raster files) were georeferenced in order to be compared with the current cadastral maps. This operation was repeated by using various transformations (linear, second and third order polynomial) and, for each of them, the precision was estimated based on the residuals analysis.

After each georeferencing process, for each raster, a *shapefile* of some land parcels uniformly distributed in the original map was created. By comparing the two *shapefiles* obtained, respectively, from the CXF vector map and from the original georeferenced map, the shifts in the north and east directions, as well as, the differences of area between current and original land parcels were evaluated.

1. INTRODUZIONE

Nel corso degli anni l’inventario catastale, da un insieme di registri e mappe cartacee, si è trasformato in un banca dati

digitale. In particolare, contestualmente al passaggio dalla cartografia tradizionale a quella vettoriale, sono state messe a punto delle procedure informatizzate per la predisposizione degli atti di aggiornamento geometrico (Iovine et al., 2006).

L’Agenzia delle Entrate-Territorio, al fine di ottenere il progressivo miglioramento della qualità dei servizi offerti, ha realizzato un nuovo sistema informatico di gestione della cartografia catastale denominato “WEGIS” (*Web Enabled GIS*). Tale sistema si basa su una banca dati topo-cartografica di tipo relazionale, integrata con la banca dati censuaria, ed è in grado di gestire rappresentazioni e funzionalità operanti su cartografia *raster* e vettoriale.

Per permettere la fruibilità dei dati cartografici catastali, è stato messo a punto uno standard di scambio (Di Filippo et al., 2003) denominato CXF (*Cadastral eXchange Format*). Questo formato, strutturato in diversi *layer*, consente di descrivere le caratteristiche catastali del territorio rappresentato in ciascun foglio di mappa. Tra i vari strati informativi, assume particolare importanza il *layer* “*particelle catastali*”, il quale rappresenta un livello essenziale per qualsiasi infrastruttura di dati spaziali, come sottolineato anche dalla direttiva europea INSPIRE (Beinant et al., 2012).

Per rendere compatibile il formato CXF con l’ambiente GIS (*Geographic Information Systems*), in cui vengono gestiti i diversi strati informativi, è necessario trasformarlo in *shapefile*. Un’ulteriore problematica, intrinseca a tale formato vettoriale, deriva dalla procedura con cui esso si ottiene che, in generale, consiste nella:

- scansione dei fogli di mappa cartacei (più recenti), denominati “copioni di visura”, i quali sono già differenti e deformati, in vario modo, rispetto agli originali;
- georeferenziazione;
- vettorializzazione con procedure semi-automatiche e creazione della nuova banca dati topo-cartografica.

L’insieme delle suddette operazioni, che ha consentito la trasformazione della mappa da cartacea a digitale, ha prodotto un decadimento dell’accuratezza topografica (Selvini, 2012) rispetto al primo, in ordine temporale, e più accurato prodotto di cui l’Agenzia delle Entrate-Territorio dispone, ovvero la mappa originale d’impianto (OI). Il termine “originale” deriva dal fatto che esso è il primo prodotto della “restituzione” su carta dei rilievi catastali eseguiti, in genere, più di cento anni or sono (Cina et al., 2010).

Considerata l’accuratezza di questa mappa, si pone l’attenzione non solo a una sua valorizzazione ma anche a come essa possa essere, dopo un’opportuna operazione di georeferenziazione, un valido elemento di confronto per stimare la qualità degli attuali fogli catastali vettoriali.

2. DATI E PROCEDURA

La sperimentazione ha riguardato sette fogli di mappa del comune di Eboli (SA), caratterizzati da differenti scale cartografiche e, di conseguenza, da diverse precisioni e dimensioni del pixel (Tab. 1).

FOGLIO	SCALA	PRECISIONE DELLA MAPPA (m)	PIXEL SIZE (m)
1	1000	0.20	0.12
3	4000	0.80	0.50
5	2000	0.40	0.25
8	2000	0.40	0.25
9	2000	0.40	0.25
12	2000	0.40	0.25
45	4000	0.80	0.50

Tabella 1. Caratteristiche dei fogli di mappa utilizzati

Tali fogli sono resi disponibili, dall’Agenzia delle Entrate-Territorio, sotto forma di:

- file *raster* derivanti da scansione delle mappe originali d’impianto, ottenuti in conformità alle specifiche riportate nella nota n. 80474 del 10/11/2006 “Acquisizione in formato digitale delle mappe catastali di impianto” dell’Agenzia del Territorio; in particolare, utilizzando uno scanner planetario (scanner piano con sistema di aspirazione), di grande formato (A0), dotato di una fotocamera e di un’opportuna struttura hardware, è stato possibile scansionare le mappe con una risoluzione di 300 dpi.
- mappa in formato CXF, derivante dalla vettorializzazione dei copioni di visura.

Per verificare la congruenza geometrica tra le suddette tipologie di mappe, da ciascun foglio sono state estratte diverse particelle e valutati gli scostamenti da esse subite nel passaggio dalla mappa d’impianto al formato vettoriale. In sintesi, il lavoro si è sviluppato nelle seguenti fasi:

1. Implementazione del software CSC (*CXF to Shapefile Converter*) per la conversione dei file CXF in *shapefile* e, con esso:
 - 1a. Conversione dei sette fogli CXF in *shapefile*;
 - 1b. Estrazione, da ogni singolo foglio, dell’elemento cartografico bordo il cui oggetto è la particella, ossia esportazione di alcune particelle sotto forma di *shapefile*;
2. Georeferenziazione dei file *raster* delle mappe d’impianto con diverse tipologie di trasformazione (lineare, polinomiale di 2° e 3° grado) e, per ciascuna di esse, analisi dei residui (Guerra et al., 2004);
3. Vettorializzazione di alcune particelle (operazione eseguita per ogni foglio e per ogni singola trasformazione);
4. Confronto degli “*shapefile_particelle*” ottenuti, rispettivamente, dal CXF (Fase 1b.) e dal file *raster* dell’originale d’impianto (Fasi 2. e 3.);
5. Analisi delle variazioni geometriche subite dalle particelle (scostamenti in Nord e Est e differenze di aree), ossia valutazione della congruenza geometrica tra la mappa d’impianto e quella attuale in formato CXF.

3. SOFTWARE CSC (CXF TO SHAPE CONVERTER)

L’informazione cartografica delle carte catastali, adottata nel formato CXF, riprende la suddivisione in fogli di mappa ma l’unità cartografica fondamentale non è il foglio bensì la mappa, in quanto un singolo foglio può contenere più elementi cartografici come, ad esempio, allegati o sviluppi.

Ciascun file CXF ha un nome che consente di associare agevolmente ad esso la corrispondente mappa catastale. Nel dettaglio, il nome di ogni file è costituito da una stringa del seguente tipo:

CCCCZFFFFAS.CXF

dove:

CCCC Codice nazionale del comune (esempio: ‘F839’ per Napoli)

Z Codice dell’eventuale sezione censuaria (‘A’, ‘B’, ... o ‘_’ se assente)

FFFF Numero del foglio (esempio '0076' per il foglio 76; se si richiede un quadro d'unione, FFFF = identificativo della richiesta)

A Codice allegato (esempio: 'A', 'B', ...; '0' se la mappa non è un allegato, 'Q' se la mappa è un quadro d'unione)

S Codice sviluppo (esempio : 'A', 'B',; '0' se la mappa non è uno sviluppo, 'U' se la mappa è un quadro d'unione)

Gli oggetti cartografici, descritti in un file CXF, vengono rappresentati da elementi geometrici di tipo: *Bordo*, *Fiduciale*, *Linea*, *Simbolo* e *Testo*. Nel caso in cui il file CXF contenga dati relativi a mappe in formato *raster* vengono utilizzati anche gli elementi geometrici "*Riferimenti_Raster*" e "*Libretto*".

Nella tabella 2 è riportato un elenco degli oggetti cartografici con il corrispondente elemento geometrico che li rappresenta.

OGGETTO CARTOGRAFICO	ELEMENTO GEOMETRICO
Confine di mappa	BORDO
Contorno di acqua (fiume, lago, ...)	BORDO
Contorno di fabbricato	BORDO
Contorno di particella	BORDO
Contorno di strada	BORDO
Linea	LINEA
Punto Fiduciale	FIDUCIALE
Simbolo qualsiasi presente in mappa	SIMBOLO
Testo qualsiasi presente in mappa	TESTO

Tabella 2. Corrispondenza oggetto cartografico/elemento geometrico

L'archiviazione dell'informazione, all'interno di un file CXF, è strutturata come segue (Magni, 2015):

1. Il file CXF è un file ASCII;
2. Il file si articola su più record, terminanti con i caratteri ASCII, CR (*Carriage Return*) e LF (*Line Feed*);
3. Ogni record contiene un singolo dato di tipo elementare, ossia CHARACTER (stringa alfanumerica; "C"), INTERO (numero intero; "I") o REALE (numero reale; "R");
4. Ogni file CXF inizia con un *header* di tre record: MAPPA, NOME MAPPA, SCALA ORIGINARIA;
5. Ad ogni elemento geometrico (BORDO, LINEA, ecc.) corrisponde un'apposita sezione all'interno del CXF, introdotta dall'omonima parola chiave (BORDO per l'elemento BORDO, ecc.); gli elementi FIDUCIALI, LINEA, SIMBOLO e TESTO possono essere seguiti dal carattere "\ " se l'elemento è completamente o per più della sua metà all'esterno del confine di mappa;
6. Le coordinate dei punti sono rappresentate con numeri reali e l'unità di misura è il metro. Per convenzione, le coordinate Est e Nord (Gauss-Boaga) o X e Y (Cassini-Soldner) vengono indicate, rispettivamente, con x e y.

7. La terminazione (*Footer*) di un file CXF è costituita dalla parola chiave EOF (*End Of File*).

Le condizioni di qualità di un file CXF sono:

- deve essere sempre presente il bordo corrispondente al confine della mappa;
- nessun bordo deve intersecare se stesso o altri bordi;
- ogni area di particella, acqua o strada deve essere completamente inclusa nel confine della mappa a cui appartiene;
- una mappa deve essere interamente tassellata da aree di particelle, acque o strade, ovvero, nella mappa non deve esserci alcuno spazio che non appartenga a una particella, acqua o strada;
- il bordo di un fabbricato deve essere totalmente contenuto in una particella.

Le informazioni sulla qualità del CXF sono codificate all'interno di un file di estensione .SUP, sempre allegato al corrispondente CXF.

Per la trasformazione dei file CXF in *shapefile* è stato realizzato il software CSC (*CXF to Shape Converter*). L'implementazione di CSC è stata effettuata in ambiente Java (Flanagan, 2002), in quanto tale linguaggio di programmazione presenta i seguenti vantaggi (*Cinnober Financial Technology AB Research & Technology*, 2012):

- compatibilità multiplatforma (grazie alla *Virtual Machine*);
- velocità di sviluppo;
- grande disponibilità di librerie;
- alta integrazione con il web.

Il software CSC consente, dato in input un file con estensione CXF, la conversione di ogni singolo oggetto cartografico, contenuto nel foglio di mappa catastale, nel formato *shapefile*. Come è noto, gli *shapefile* registrano semplicemente i dati geometrici "*primitivi*" (punti, linee, poligoni e testi) che, insieme agli attributi, possono creare infinite rappresentazioni di dati geografici da cui, a loro volta, dipende la potenza e l'accuratezza delle analisi geospaziali che sono il fine dei GIS (ESRI, 1998).

In una prima fase di implementazione del software sono state estratte le entità puntuali (in quanto più semplici da gestire) e, successivamente, sono state analizzate le "*feature*" linee e poligoni. Di particolare interesse è stata la scrittura del codice per la gestione dei poligoni toroidali (Fig. 1), ovvero poligoni isola contenuti all'interno di poligoni più grandi e caratterizzati dal non avere lati in comune.

L'interfaccia grafica è stata ottenuta realizzando un pannello principale (*Jframe*) e, successivamente, creando diversi pannelli intermedi (*Jpanel*) ognuno dei quali gestisce una diversa geometria. I *Jpanel* sono stati realizzati utilizzando l'oggetto *setLocation(x,y)* che consente di posizionare il *Jpanel* in un definito sistema di coordinate.

Al fine di rendere quanto più semplice e intuitiva possibile l'interfaccia del software, è stata definita una serie di bottoni a ciascuno dei quali è stato associato un evento.

Invece, per scegliere la geometria da esportare sono state inserite delle caselle di controllo (*Checkbox*) (Fig. 2) che consentono di selezionare le sole entità che si intendono esportare nello *shapefile*.

```

if(isole==0)
{
if(flag.equals("STRADA")==false)&&( flag.equals("ACQUA")==
false))
{
if((fabbricato!= '+')&&(flag.equals(nomemappa)==false))
{
LinearRing ring = GF[contabuffer].createLinearRing( cords );
LinearRing holes[] = null; // use LinearRing[] to represent holes
Polygon polygon = GF[contabuffer].createPolygon(ring, holes);
SFB[contabuffer].add(polygon);
SimpleFeature feature2 = SFB[contabuffer].buildFeature(null);
feature2.setAttribute(2, particella);
feature2.setAttribute(1, numeromappa2);
SFC[contabuffer].add(feature2);
}
}
if(isole>0){
LinearRing[] buche=new LinearRing[isole];
contaisole= 0;
if(flag.equals("STRADA")==false)&&( flag.equals("ACQUA")==
false))
if((fabbricato!= '+')&& (flag.equals(nomemappa)==false)){
cords1=new Coordinate[totalevertici-(lunghezzacords1)];
for(int d=0; d<cords1.length; d++){ cords1[d]= cords[d];
}
int indice=0;
int i= cords1.length;
while(i<cords.length){
cords2= new Coordinate[verticisingolaisola[indice]];
int k=0;
int primo= i;
int ultim= primo+(verticisingolaisola[indice]-1);
while(primo <= ultim){
cords2[k]=cords[primo];
System.out.println(cords2[k]);
primo= primo+1;
k= k+1;
}
if(primo>ultim){
buche[contaisole]= GF[contabuffer].createLinearRing(cords2);
contaisole= contaisole+1;
}
i= ultim+1;
if(indice!=isole-1){
indice= indice+1;
}
LinearRing ring = GF[contabuffer].createLinearRing( cords1 );
Polygon polygon1 = GF[contabuffer].createPolygon(ring, buche);
SFB[contabuffer].add(polygon1);
SimpleFeature feature2 = SFB[contabuffer].buildFeature(null);
feature2.setAttribute(2, particella);
feature2.setAttribute(1, numeromappa2);
SFC[contabuffer].add(feature2);
}}
}
}

```

Figura 1. Codice per l'estrazione dei poligoni toroidali

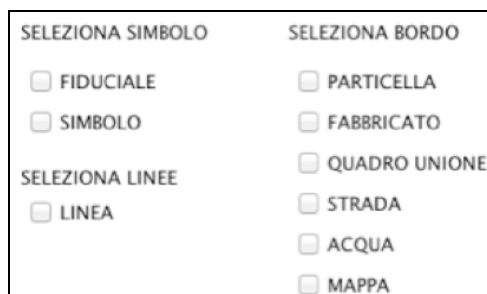


Figura 2. Checkbox

Ad esempio, selezionando la *Checkbox* “particella”, l’applicazione creerà in automatico lo *shapefile* denominato “nomefile_particella.shp”, contenente tutte le particelle presenti nell’intero file.

Infine, con l’inserimento di immagini e loghi, il software CSC è stato dotato di interfaccia grafica (Fig. 3).

Il software CSC realizzato è stato impiegato per convertire i sette fogli, del comune di Eboli, dal formato CXF a *shapefile*.

Successivamente, da ogni singolo foglio, sono state esportate, sotto forma di *shapefile*, alcune particelle distribuite in modo uniforme nel foglio di mappa.

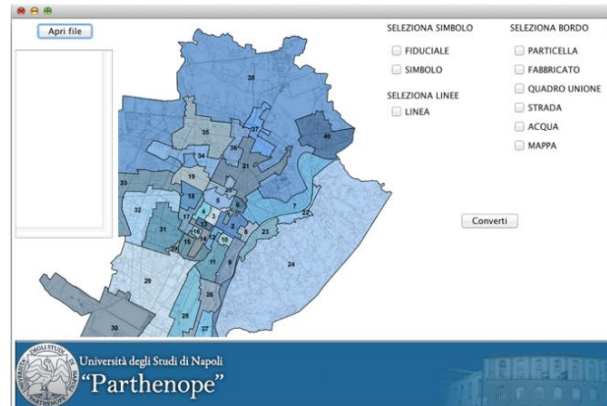


Figura 3. Interfaccia grafica del software CSC

4. GEOREFERENZIAZIONE DEI RASTER D’IMPIANTO E VETTORIALIZZAZIONE DELLE PARTICELLE

Al fine di poter eseguire il confronto con le mappe nell’attuale formato vettoriale, la prima fase di elaborazione dei *raster* d’impianto è consistita nella loro georeferenziazione, poiché essi erano privi di informazione geometrica.

Come è noto, la georeferenziazione di una carta si realizza attraverso un processo di trasformazione geometrica e un successivo ricampionamento.

Nei diversi software GIS sono implementati vari algoritmi di trasformazione, globali o locali a seconda che i parametri calcolati valgano, rispettivamente, per l’intera carta o solo per aree specifiche.

In questo lavoro, il processo di georeferenziazione è stato effettuato con il software QuantumGis, un’applicazione desktop GIS Open Source.

Poiché nel suddetto software non è presente il sistema di riferimento Cassini-Soldner, ossia quello adottato dal Catasto ad eccezione di limitate zone, per la georeferenziazione dei fogli di mappa è stato creato, ad *hoc*, un file *.prj.

Con esso, sono state georiferite le mappe impiegando le seguenti trasformazioni globali:

- Lineare;
- Polinomiale di 2° grado;
- Polinomiale di 3° grado.

Il processo di ricampionamento è stato effettuato sempre con l’algoritmo *nearest neighbour* che è il più conservativo e, per questo motivo, più adatto per la cartografia storica.

Nella prima georeferenziazione, in conformità alla direttiva n. 39391 del 27/05/2008 dell’Agenzia del Territorio, è stata applicata una trasformazione di tipo lineare, ossia una rototraslazione a quattro parametri con un solo fattore di scala,

scegliendo come GCP (*Ground Control Point*) nove punti di intersezione del reticolato (crocicchi) distribuiti in maniera uniforme sulla mappa e, ove possibile, disposti lungo la cornice o in corrispondenza degli spigoli (Fig. 4). Questa operazione, nonché quelle effettuate in seguito, è stata ripetuta per tutti e sette i fogli ma, per brevità, la procedura viene esemplificata solo per il foglio n. 1 (Fig. 4).

In generale, la qualità di una qualsiasi trasformazione è valutata attraverso l'analisi dei residui derivanti dal calcolo di compensazione ai minimi quadrati.



Figura 4. GCP per la trasformazione lineare

Per ottenere una stima più affidabile dei residui, in questa prima trasformazione e in quelle successive, è stato impiegato un numero di GCP sempre superiore rispetto a quello strettamente necessario.

Nel caso della trasformazione lineare i residui (Tab. 3) sono risultati piuttosto alti, ben oltre il limite dello scarto massimo accettabile, ovvero al di sopra dell'errore di graficismo per una scala cartografica di 1:1000 (0.20 m).

GCP	ΔX (PIXEL)	ΔY (PIXEL)	RESIDUI (PIXEL)	RESIDUI (m)
1	-29.0	27.2	39.8	4.8
2	-38.9	-1.4	39.0	4.7
3	-31.1	-27.9	42.5	5.1
4	33.4	-26.4	42.6	5.1
5	29.1	0.4	29.1	3.5
6	29.9	25.6	39.3	4.7
7	3.3	28.8	29.0	3.5
8	-1.2	1.0	1.5	0.2
9	5.5	-26.6	27.1	3.3

Tabella 3. Residui della trasformazione lineare

Al medesimo foglio di mappa in esame è stata applicata, successivamente, prima una trasformazione polinomiale di 2° e poi una di 3° grado, entrambe con sedici punti di controllo (Fig. 5) che hanno prodotto residui (Tab. 4 e 5) molto più bassi rispetto a quelli della lineare e, inoltre, tutti contenuti nella tolleranza cartografica della mappa.



Figura 5. GCP per una trasformazione di 2° e 3° grado

Dopo la georeferenziazione, per ogni *raster* e tipo di trasformazione, è stata eseguita un'accurata operazione di vettorializzazione manuale.

Con questa procedura sono stati generati degli *shapefile*, di tipo poligonale, contenenti le stesse particelle esportate dal CXF.

GCP	ΔX (PIXEL)	ΔY (PIXEL)	RESIDUI (PIXEL)	RESIDUI (m)
1	0.9	0.7	1.2	0.1
2	-2.0	-0.2	2.0	0.2
3	1.0	1.1	1.5	0.2
4	1.0	-0.9	1.3	0.2
5	-0.7	-1.2	1.4	0.2
6	0.5	-1.2	1.3	0.2
7	-0.6	-0.6	0.8	0.1
8	0.2	0.5	0.5	0.1
9	0.6	2.4	2.4	0.3
10	0.8	0.8	1.1	0.1
11	0.1	-0.7	0.7	0.1
12	-0.6	-1.2	1.4	0.2
13	1.6	0.0	1.6	0.2
14	-0.7	0.1	0.7	0.1
15	-1.2	-0.3	1.2	0.2
16	1.7	0.1	1.7	0.2

Tabella 4. Residui della trasformazione polinomiale di 2° grado

GCP	ΔX (PIXEL)	ΔY (PIXEL)	RESIDUI (PIXEL)	RESIDUI (m)
1	0.0	-0.1	0.1	0.0
2	0.1	0.6	0.6	0.1
3	-0.6	-0.1	0.6	0.1
4	0.5	-0.4	0.6	0.1
5	0.1	-1.1	1.1	0.1
6	0.1	-0.2	0.2	0.0
7	0.6	-0.5	0.7	0.1
8	-0.8	0.8	1.2	0.1
9	-0.4	1.1	1.1	0.1
10	0.2	0.1	0.2	0.0
11	-0.2	-0.7	0.7	0.1
12	0.5	-0.5	0.7	0.1
13	0.3	-0.7	0.7	0.1
14	-0.4	0.6	0.7	0.1
15	0.2	0.0	0.2	0.0
16	-0.1	0.1	0.2	0.0

Tabella 5. Residui della trasformazione polinomiale di 3° grado

Tuttavia, nonostante la direttiva catastale preveda una trasformazione a quattro parametri su nove crocicchi, essa non è la migliore configurazione per effettuare un confronto su un intero foglio di mappa. Pertanto, al fine di ottenere un'analisi più puntuale e la stima di un campo delle deformazioni più dettagliato, è stato effettuato un confronto, su tutti gli originali di impianto (OI), tra la trasformazione affine a sei parametri e la polinomiale di 2° e 3° grado. Nel dettaglio, usando i 70 crocicchi disponibili su ciascun foglio di mappa, per ciascun tipo di trasformazione sono stati calcolati gli scarti quadratici medi (RMS) espressi in termini di pixel (Tab. 6).

Fg	RMS TRASFORMAZIONE AFFINE	RMS POLINOMIALE 2° GRADO	RMS POLINOMIALE 3° GRADO
1	0.3	0.2	0.1
3	1.0	0.6	0.5
5	0.6	0.3	0.2
8	0.6	0.3	0.3
9	1	0.4	0.4
12	0.6	0.3	0.3
45	1.3	0.7	0.5

Tabella 6. RMS delle varie trasformazioni sui fogli di mappa OI

5. ANALISI DELLE VARIAZIONI GEOMETRICHE TRA PARTICELLE DA RASTER (OI) E DA CXF

Dopo l'operazione di georeferenziazione, attraverso un'accurata operazione di editing, è stato creato uno *shapefile* di alcune particelle distribuite in modo uniforme nel foglio di mappa. In particolare, sono stati realizzati tre *shapefile*, ognuno relativo ad un tipo di trasformazione.

Tali *shapefile* sono stati confrontati con quelli corrispondenti ricavati dai file CXF, ciò al fine di valutare le variazioni geometriche subite dalle particelle, ossia le differenze in termini di (Tab. 7):

- Delta Est (ΔE);
- Delta Nord (ΔN);
- Delta Area (ΔA).

I ΔE e ΔN analizzati rappresentano la media degli spostamenti subiti, rispettivamente lungo l'asse y e x , da tutti i vertici di ciascuna particella presa in considerazione (Tab. 7).

PARTIC.	LINEARE		POLINOMIALE 2°		POLINOMIALE 3°	
	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE (m)	ΔN (m)
12	0.4	0.4	0.9	0.7	0.8	0.8
25	0.2	0.4	0.9	0.8	0.9	0.8
70	0.1	0.4	0.7	0.6	0.5	0.8
118	0.4	0.8	0.6	0.5	0.7	0.6
230	1.4	1.3	0.4	0.6	0.4	0.6
295	1.5	1.4	0.2	0.6	0.2	0.6
316	1.7	1.7	0.1	0.6	0.1	0.5
349	2.3	1.9	0.3	0.3	0.2	0.2
383	3.1	1.8	0.7	0.4	0.6	0.5
412	3.0	2.7	0.8	0.2	0.7	0.4
451	2.8	0.6	1.1	0.1	0.9	0.1
489	1.9	2.1	1.2	0.7	1.0	0.7
603	1.3	1.8	1.1	0.6	0.9	0.7
649	1.1	1.5	1.2	0.6	1.1	0.7

Tabella 7. Scostamenti delle particelle del foglio n.1 applicando le varie trasformazioni

La sovrapposizione del singolo vettoriale CXF alla corrispondente mappa d'impianto georiferita (con le diverse trasformazioni), consente di apprezzare graficamente gli scostamenti delle particelle. Un esempio di tale sovrapposizione è mostrato in Figura 6: in questo caso il *raster* è stato georiferito con trasformazione lineare.



Figura 6. Sovrapposizione dell'attuale mappa vettoriale CXF alla mappa d'impianto georiferita

Come indicato in precedenza, oltre agli spostamenti lineari, sono state analizzate anche le differenze di superficie ΔA tra le singole particelle, desunte dall'attuale formato vettoriale (CXF) e quelle ottenute dalla vettorializzazione dei fogli d'impianto georeferenziati mediante le tre trasformazioni. In particolare, di tali differenze si è calcolato il valore normalizzato ($\Delta A\%$):

$$\Delta A\% = \frac{A_{CXF} - A_{imp,trasf}}{A_{CXF}} \quad (1)$$

ove:

$\Delta A\%$ differenza normalizzata di superficie di ogni particella;

A_{CXF} superficie della particella ottenuta dal file CXF;

$A_{imp,trasf}$ superficie della particella ottenuta dalla vettorializzazione del *raster* georiferito, rispettivamente, con le tre tipologie di trasformazione.

I valori normalizzati delle differenze delle aree, ricavati per le quattordici particelle esaminate nel foglio 1, sono stati riportati in un istogramma (Fig. 7), dal quale si evidenzia che il massimo valore, in modulo, è circa l'8%.

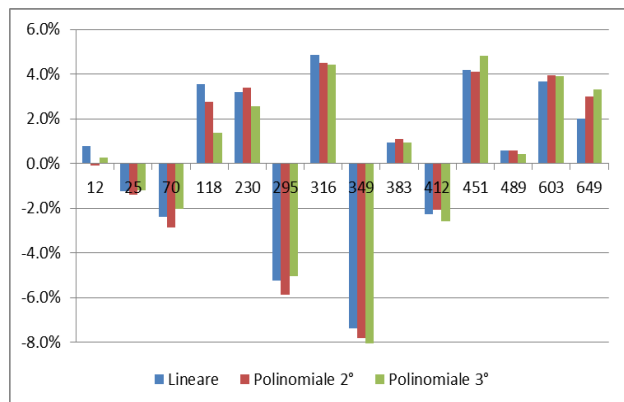


Figura 7. Valori normalizzati delle differenze di superficie delle particelle investigate (Fig. 1)

La metodologia adottata per il foglio 1 è stata applicata ai restanti fogli di mappa oggetto della sperimentazione.

In particolare, al fine di snellire la trattazione numerica, nelle tabelle seguenti sono state riportate le variazioni medie delle grandezze (ΔE , ΔN , ΔA , $\sigma_{\Delta E}$, $\sigma_{\Delta N}$, $\sigma_{\Delta A}$) che si sono rilevate per ciascun foglio di mappa.

In tabella 8 sono riportati i risultati, in termini di media (m) e deviazione standard (σ), del confronto delle mappe vettoriali attuali con quelle derivanti dalla georeferenziazione dei fogli di impianto con trasformazione lineare e successiva vettorializzazione.

Fg.	$m_{\Delta E}$ (m)	$m_{\Delta N}$ (m)	$m_{\Delta A}$ (m ²)	$\sigma_{\Delta E}$ (m)	$\sigma_{\Delta N}$ (m)	$\sigma_{\Delta A}$ (m ²)
1	1.5	1.3	2.0	1.0	0.7	1.0
3	16.2	9.8	176.0	4.6	6.4	178.0
5	1.6	2.1	22.0	1.1	1.0	15.0
8	2.8	1.1	12.0	1.7	0.7	12.0
9	10.9	2.5	42.0	5.1	1.8	47.0
12	2.7	7.5	234.0	1.8	4.9	176.0
45	5.7	5.1	292.0	1.6	1.2	286.0

Tabella 8. Confronto tra fogli di impianto e mappe attuali CXF applicando una trasformazione lineare

Adottando un procedimento analogo per le trasformazioni polinomiali, si sono evidenziati valori paragonabili a quelli ottenuti dalla trasformazione lineare (Tab. 8 e 9).

Fg.	$m_{\Delta E}$ (m)	$m_{\Delta N}$ (m)	$m_{\Delta A}$ (m ²)	$\sigma_{\Delta E}$ (m)	$\sigma_{\Delta N}$ (m)	$\sigma_{\Delta A}$ (m ²)
1	0.7	0.5	2.0	0.4	0.2	1.0
3	16.1	14.0	126.0	4.6	10.1	122.0
5	0.9	0.6	18.0	0.4	0.6	15.0
8	2.6	1.4	14.0	1.8	0.6	12.0
9	10.8	3.3	45.0	5.1	2.6	39.0
12	3.0	7.2	200.0	1.9	5.2	149.0
45	0.5	1.9	78.0	0.2	1.4	72.0

Tabella 9. Confronto tra fogli di impianto e mappe attuali CXF applicando una trasformazione polinomiale di 2° grado

Fg.	$m_{\Delta E}$ (m)	$m_{\Delta N}$ (m)	$m_{\Delta A}$ (m ²)	$\sigma_{\Delta E}$ (m)	$\sigma_{\Delta N}$ (m)	$\sigma_{\Delta A}$ (m ²)
1	0.6	0.6	2.0	0.3	0.2	2.0
3	15.0	11.8	349.0	4.7	7.3	499.0
5	0.7	0.5	17.0	0.3	0.2	18.0
8	2.4	1.5	60.0	1.8	0.8	140.0
9	10.8	3.3	43.0	5.0	2.6	40.0
12	2.7	6.9	200.0	1.9	5.1	157.0
45	0.6	1.5	70.0	0.3	1.1	77.0

Tabella 10. Confronto tra fogli d'impianto e mappe attuali CXF applicando una trasformazione polinomiale di 3° grado

6. CONCLUSIONI

Il sistema informatico della cartografia catastale WEGIS ha sicuramente consentito una più agevole ed efficiente gestione della banca dati catastale ma, per contro, ha provocato un decadimento della qualità geometrica delle mappe. Pertanto, se da un lato si chiude la fase di innovazione nel sistema di aggiornamento si aprono, contestualmente, nuove prospettive per il miglioramento dell'accuratezza della cartografia catastale. In questo lavoro, per verificare la congruenza geometrica tra le mappe originali d'impianto e quelle attuali nel formato vettoriale CXF, sono stati analizzati gli spostamenti lineari e le deformazioni areali introdotte con tale processo.

A tal fine, è stato sviluppato un apposito software in grado di gestire i file CXF e di trasformarli in shapefile; funzionalità, quest'ultima, che favorisce anche l'integrazione dell'attuale base di dati cartografici catastali con i software GIS.

Successivamente, sono state eseguite le operazioni di georeferenziazione dei fogli di mappa di impianto (OI), con diverse tipologie di trasformazioni, vettorializzazione e confronto tra le particelle catastali.

Per quanto riguarda le operazioni di georeferenziazione dei fogli OI, dall'analisi dei residui delle diverse trasformazioni, si evince che quelle polinomiali mostrano residui più bassi rispetto a quella lineare. Infatti, in entrambe le trasformazioni polinomiali, la georeferenziazione dei fogli d'impianto analizzati mette in evidenza residui con valori medi al di sotto dell'errore di graficismo. Invece, per tutti i fogli, la trasformazione lineare restituisce dei residui con valori al di sopra del limite di tolleranza.

Pertanto, la trasformazione lineare si è mostrata inadeguata per tale scopo mentre l'applicazione di funzioni complesse

(funzioni polinomiali) ha consentito di ottenere un prodotto cartografico quasi geometricamente congruente. Tuttavia, aumentando il grado del polinomio, non si sono verificati dei significativi aumenti di precisione della mappa. Pertanto, nel caso della georeferenziazione dei fogli di impianto, considerando il numero di GCP minimi per la georeferenziazione, si suggerisce l'impiego di una polinomiale almeno del 2° grado.

Per quanto concerne l'analisi degli spostamenti, dal confronto emerge un'indipendenza spaziale, ossia ogni foglio mostra degli scostamenti non costanti nelle direzioni Est e Nord e presenta un elevato indice di dispersione. Inoltre, le particelle vettorializzate dai fogli di impianto, georeferite con le diverse modalità (trasformazioni lineare, polinomiale di 2° e 3° grado), si discostano, su alcuni fogli di mappa, in maniera significativa dalle analoghe entità riportate nel CXF (si rilevano, per i fogli 3 e 9 scostamenti medi maggiori di 10 m).

Infine, analizzando i valori ΔA delle particelle considerate per ogni singolo foglio, si nota che le differenze di superficie, positive e negative, sono distribuite in maniera casuale, in conseguenza degli scostamenti non costanti.

Il recupero delle distorsioni (introdotte nella fase di vettorializzazione dei copioni di visura) è, ancora oggi, un tema oggetto di ricerca; dunque, prima di un eventuale passaggio al nuovo sistema di riferimento (UTM-ETRF2000), si auspica di individuare una tecnica che consenta di ridurre al minimo tali incongruenze geometriche.

RINGRAZIAMENTI

Si desidera ringraziare il Collegio dei Geometri e Geometri Laureati della Provincia di Salerno, l'Agenzia del Territorio e l'Assessorato provinciale ai Lavori pubblici e Urbanistica in quanto, grazie alla loro sinergia, è stato possibile ottenere in formato digitale tutti i fogli di mappa catastali di impianto della Provincia di Salerno.

BIBLIOGRAFIA

Agenzia del Territorio, 2015 "Specifica tecnica del formato per l'Export/Import della cartografia catastale vettoriale CXF" <http://www.agenziaentrate.gov.it/wps/wcm/connect/918f42804f8eab50ad18ff013c39b904/specifica+tecnica+CXF.rtf?MOD=AJPERES&CACHEID=918f42804f8eab50ad18ff013c39b904> (06 Jun. 2015).

Beinat, A., Crosilla, F., Sossai, E., Basso, M., Piuozzo, R., 2012. Cadastral Map Upgrading and Layers Harmonization for the Spatial Data Infrastructure in Friuli Venezia Giulia, Italy. *FIG Working Week, 6-10 May*.

Cina, A., De Agostino, M., Manzino, A., Piras, M., 2010. Valorizzazione metrica della mappa d'impianto catastale. *Bollettino della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia n. 1 pp. 41-54*.

Cinnober Financial Technology AB Research & Technology, 2012. "The benefits of using Java as a high-performance language for mission critical financial applications", *Stockholm, Sweden* <http://www.cinnober.com/sites/default/files/news/The-benefits-of-Java-white-paper-1.pdf> (02 Jun. 2015).

Di Filippo, S., Ferrante, F., Gnesivo, P. R., 2003. L'evoluzione del nuovo sistema cartografico del Catasto. *Atti 7.a Conferenza Nazionale ASITA, Verona, 28-31, Ottobre 2003*.

ESRI, 1998. "Shapefile Technical Description", *Redlands, California USA* <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/Shapefile.pdf> (05 Jun. 2015).

Flanagan, D., 2002. Java in a Nutshell, *4th edition, O'Reilly & Associates, Inc., ISBN: 0-596-00283-1, 992 p., March*.

Guerra, F., Monti, C., 2004. Il fotopiano digitale. *Cicero Editore, Milano*.

Hammoudi, S., Cordeiro, J., Maciaszek, L., A., Filipe, J., 2013. Enterprise Information Systems. *15h International Conference, ICEIS 2013, Angers, France, 4-7 July, 2013, Springer*.

Iovine, A., Fusacchia, G., Cino, N., 2006. Pregeo 9. Il catasto on-line. *Sistemi Editoriali*.

Magni, D., 2015. Corso di Sistemi Catastali, Automazione del Catasto. *Politecnico di Milano - Polo territoriale di Como*. <http://geomatica.como.polimi.it/corsi/catasto/catauto.pdf> (Ultimo accesso 02 maggio 2015).

Selvini A., 2011. La banca dei dati Catastali: considerazioni sul rifacimento totale. *GEOMedia 15.3*.