ALESSANDRO MARUCCI, FRANCESCO ZULLO

# DRONI PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

*Fast monitoring for fast planning*

COGECSTRE
EDIZIONI

*All’equipaggio del 118*

**Indice**

**Presentazione (Fernando Di Fabrizio)**

**Cap. 1. La rivoluzione dei tempi e dei costi nel controllo territoriale…….1**

1.1. Nuove tecniche e nuove professioni…….1

1.2. Il controllo adattativo nel piano……11

**Cap. 2. Analisi GIS a supporto della pianificazione territoriale……16**

2.1. I Sistemi Informativi Geografici nello studio del territorio……16

2.2. Software GIS open source e diffusione dell'informazione geografica nel web……21

2.3. Gestione ed utilità dell'informazione geografica nella pianificazione territoriale……28

2.4. Valutare, quantificare e programmare le trasformazioni territoriali: un protocollo tecnico per la mosaicatura degli strumenti urbanistici comunali……33

2.5. L'integrazione GIS-UAV a supporto della pianificazione territoriale…….51

**Cap. 3. I Sistemi UAV per la diagnosi ambientale……..58**

3.1. Pianificazione di una missione di volo……58

Box: Ground Sampling Distance……60

3.2. Il rilievo tridimensionale attraverso UAV……67

**Schede Tematiche……78**

1. L'accertamento e la valutazione del danno all'agricoltura da fauna selvatica: nuovo protocollo attraverso tecnologie UAV……78

2. Modellazione tridimensionale delle aree sommitali con tecniche GIS-UAV……84

3. Tecniche di analisi e di valutazione di impatti ambientale nelle aree di cava……87

**4. Bibliografia 91**

**Gli Autori:**

Il capitolo 1 è stato scritto da **Bernardino Romano**, il capitolo 2 da **Francesco Zullo** ed il capitolo 3 da **Alessandro Marucci**. Le immagini presenti nei capitoli sono state elaborate dai rispettivi autori salvo diversa indicazione.

**Presentazione**

Questo libro, sui sistemi aeromobili a pilotaggio remoto (SAPR), fornisce ai giovani studenti, ai ricercatori ma anche ad un pubblico vasto, un validissimo strumento di lavoro, utile per conoscere a fondo le infinite potenzialità, di un piccolo strumento progettato per volare, concentrato di tecnologia evoluta dell'era digitale. I droni danno la possibilità a tutti noi di portare in alto, nel cielo, un nuovo punto di vista, e di applicare, con le riprese video e fotografiche ad alta definizione, modelli reali di interpretazione del territorio con estrema precisione, per le esigenze più varie ed a costi davvero contenuti. La storia delle riprese aeree inizia nel 1858 quando il fotografo francese Gaspar Felix Tournachon, conosciuto con lo pseudonimo Nadar, scattava la prima fotografia aerea da una mongolfiera. Oggi, con l'avvento dei satelliti militari e civili, la lettura fotografica del territorio ha raggiunto un livello qualitativo straordinario e può essere verificato perfino in tempo reale. Tuttavia la fotografica satellitare per le restituzioni tematiche nell'ambito urbanistico, agricolo e naturalistico o in altri settori, ha ancora costi difficilmente sostenibili per un singolo cittadino. Gli APR sono invece droni pilotati a distanza con costi alla portata di tutti e sono in grado di produrre in tempi brevissimi cartografie specifiche e rilievi di vario genere, come vedremo in queste pagine ricche di contenuti applicati all'utilizzo delle nuove tecnologie. Oltre alla lettura scientifica del territorio i droni possono avere interessanti applicazioni nel settore della produzione di audiovisivi e nel complesso mondo del cinema, ma anche nel campo ricreativo. Oggi gli uomini sono mossi sia dai bisogni alienanti sia da quelli radicali. Gli alienanti o "quantitativi" determinano il bisogno di accumulo di cose, concentrazione di potere, individualismo, consumismo. I bisogni radicali, legati alle radici evolutive, antropologiche, determinano bisogno di introspezione, silenzio, pace, semplicità, bellezza, umanità e senso. Il problema è che le attività di oggi, troppo spesso frenetiche ed alienanti, soddisfano le necessità di tipo quantitativo in contrasto, con i bisogni radicali. Ma c'è anche la possibilità di lavorare in modo nuovo. Il processo tecnologico ci aiuta a ridurre, da un lato, la qualità e lo spessore creativo di ciò che produce, dall'altro la tecnologia tende a prendersi i mestieri più monotoni, "uniformanti" e ripetitivi. I droni si pongono ad una via di mezzo dove la creatività e la tecnologia se usati bene possono raggiungere un equilibrio costante. In questa situazione, la sfida di studiosi, politici, ambientalisti, lavoratori o cittadini consapevoli non è quella di opporsi al progresso ma di far sì che questo sia finalizzato ad un benessere condiviso che

apporti forze in senso evolutivo e non produca, solo e sempre, concentrazione di potere e denaro. In altri termini è possibile adesso creare un nesso, pressoché costante, tra il lavoro e la creatività. Oggi, i veri lussi non sono più oggetti come pietre preziose, orologi d'oro, ma spazio, tempo, tradizioni e rapporti. La riserva naturale regionale Lago di Penne, sempre attenta alle nuove scoperte tecnologiche applicate allo studio e gestione dei beni naturali, è stata una delle prime istituzioni in Abruzzo ad investire nello sviluppo dei SAPR, tanto che l'Enac ha autorizzato un campo di volo nella collina di Collalto dove, grazie alla convenzione con Volandia, si svolgono continuamente corsi di pilotaggio dei droni con centinaia di partecipanti da tutta l'Italia. Questa pubblicazione coordinata degli esperti professori e ricercatori dell'Università dell'Aquila supera la prima fase di sperimentazione e si avvia a fornire modelli collaudati nei diversi campi di applicazione dei droni.

***Fernando DI FABRIZIO***

**Ringraziamenti**

Si ringraziano **Carlo Console** e **Luca Festuccia** del Corpo Forestale dello Stato (CTA del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga), **Domenico Nicoletti** (Direttore) e **Alfonso Calzolaio** del Parco Nazionale del GSML, **Enrico Stagnini** di Droni Abruzzo, la **COGECSTRE** Edizioni di Penne, **Mariano Spera** del Parco Nazionale della Majella, **Mauro Fabrizio** della Riserva regionale Monte Genzana Alto Gizio, **Chiara Santoro**, **Daniele Iacovone**, **Carmelina De Rose** e **Dina Del Tosto** del Comune dell'Aquila, **Paolo Papa**, **Raoul Segatori** e **Maria Grazia Possenti** della Regione Umbria, **Roberto Di Muzio** della Regione Abruzzo. Si ringraziano inoltre **Serena Ciabò** e **Lorena Fiorini** con le quali condividiamo quotidianamente le attività di ricerca e tutti gli studenti ed i collaboratori del Laboratorio GiSApr del DICEAA con i quali sperimentiamo ogni anno le funzionalità ed i vantaggi delle nuove tecnologie.

## Cap.1 La rivoluzione dei tempi e dei costi nel controllo territoriale (B. Romano)

### 1.1. Nuove tecniche e nuove professioni

**La lentezza del piano e la velocità di trasformazione**

Il piano urbanistico ha da sempre previsto un dispositivo di feedback necessario a verificarne la validità dei contenuti nel tempo e le alterazioni che il procedere dell'azione di governo comportava a carico delle condizioni di start, modificando pertanto i presupposti di partenza in un ciclo senza fine che è stato anche fortemente criticato dai detrattori del piano, producendo talvolta opinioni di semi-inutilità dello stesso. Il controllo a posteriori in continuità (monitoring) è del resto essenziale per tutti i sistemi gestiti, e il sistema territorio non fa eccezione. Già McLoughlin (1973) sosteneva: *La messa in esecuzione del piano rientra nel campo più generale delle azioni di controllo, nel senso inteso dall'ingegneria dei sistemi e dalle scienze biologiche, cioè non nel senso angusto e restrittivo di esercitare un veto ma in quello più ampio, che include stimoli positivi e interventi. Il principio generale che viene qui introdotto è chiamato "regolazione controllata d'errore"; esso è attuato attraverso un meccanismo di controllo fornito di informazioni relativamente allo stato effettivo, confrontato allo stato desiderato* (Fig. 1.1). Ma, sebbene teorizzato con intuito scientifico, negli anni '70 tale tipo di controllo viene decisamente ostacolato dalla rigidezza inevitabile di strumenti disegnati fisicamente su carta. La lentezza dei processi trasformativi del passato aveva marcato poco le difficoltà del disegno statico di inseguire l'evoluzione dei fenomeni sociali e territoriali, perché questi erano relativamente lenti, ma dal dopoguerra in poi l'accelerazione dei processi ha reso del tutto inadeguato il ruolo delle mappe programmatiche fissate su fogli, drammaticamente immodificabili, se non con tempi lunghi, e altrettanto difficilmente divulgabili, con tecniche di copiatura e diffusione manuale farraginose e costose.

Gli effetti della velocità di avvicendamento degli avvenimenti sulla pianificazione sono stati sottolineati da molti grandi urbanisti. Campos Venuti (1990) distingue una urbanistica "intensiva" da una "estensiva": *E' come se i piani degli anni '60 e '70 avessero una sola velocità e i piani nuovi fossero a due velocità….troviamo insomma una chiara distinzione tra "interventi intensivi" a forte carattere di trasformazione per l'area investita e per la città intera, ed "interventi estensivi", a dolce e graduale carattere di trasformazione.*

Dice Fuccella (1995): *Quando passiamo ad osservare i cambiamenti direttamente collegati alle azioni umane ci accorgiamo che in questo campo i ritmi sono più veloci e gli effetti nettamente avvertibili. Si tratta, oltretutto, di ritmi non solo veloci ma anche accelerati. Una vecchia veduta a volo d'uccello di una città medioevale o*

*rinascimentale ha conservato la validità di documento attestante lo stato di fatto per una durata molto più lunga di quella che può essere accordata ad una recente foto aerea di una moderna città. Le attuali mappe redatte sulla base di rilievi aerofotogrammetrici hanno, per i fini pratici del pianificatore, una validità di pochissimi anni. Oggi, anche il più piccolo centro presenta, a distanza di qualche mese, delle variazioni di dimensione quantificabili nella distribuzione e nella composizione del patrimonio edilizio ed infrastrutturale.*

La perseveranza conservatrice dell'Università e della prassi professionale ad ignorare queste indicazioni, procedendo ostinatamente lungo le traiettorie tecniche tradizionali e indulgendo in fantasiose filosofie riformiste, probabilmente non è estranea al risultato che, nel 2003, un grande pianificatore italiano, Franco Archibugi, definisce affetto da molteplici fallimenti: *si è presa la strada di un flusso continuo di considerazioni e riflessioni (meritano di essere chiamate "teoria"?) sulla pianificazione; la strada di un grande chiacchiericcio (che si è voluto nobilitare chiamandolo anche post-moderno) sul significato della pianificazione, sui suoi condizionamenti istituzionali, sulla sua razionalità "limitata", ecc…..E si è andata sviluppando una sorta di filosofia negativa o dell'incapacità: incapacità dei piani di essere applicati, incapacità di fare delle proiezioni adeguate nel futuro, incapacità di prendere decisioni razionali, incapacità di applicare schemi organizzativi efficaci, e così via….Ho come l'impressione che da tutto questo parlarsi addosso (che continuiamo a chiamare "planning theory") si stia recitando – senza accorgersi – una specie di grande requiem della pianificazione* (Archibugi, 2003).

La velocità trasformativa del territorio emerge dalle ricerche degli ultimi anni che hanno computato in oltre 80 ha al giorno (500 $m^2$/min) la conversione urbana dei suoli italiani dal dopoguerra all'oggi, passando da una densità di costruito e spazi accessori inferiore al 2% all'oltre 7% attuale. Così come è significativa l'urbanizzazione della linea costiera nazionale che, quasi in tutti i settori geografici continentali e insulari, è stata dell'ordine dei 10 km all'anno (quasi 30 m al giorno) per oltre mezzo secolo (Romano e Zullo, 2014). Non si deve credere che questa rapidità di modificazione del territorio sia stata una peculiarità italiana: la Germania, ad esempio, fino al 2000, denunciava una perdita di suolo di oltre 130 ha al giorno, però i modelli organizzativi dell'insediamento sono stati molto diversi e pianificati, non producendo il tessuto atomizzato e disperso che oggi caratterizza l'Italia (sprinkling) e conseguente alla debolezza dei dispositivi di governo territoriale (Romano *et alii*, 2015,2016, 2017; Fiorini *et* alii, 2016).

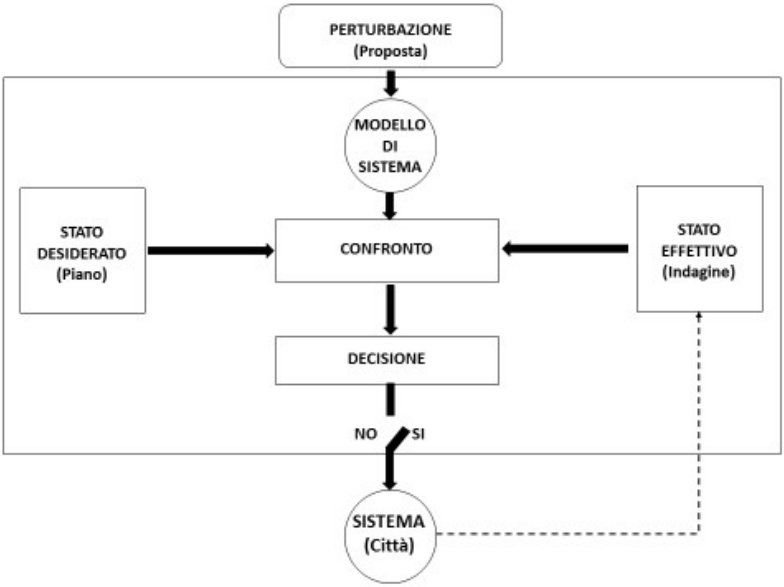



Fig. 1.1 – *La regolazione con controllo di errore di Mc Loughlin*

**La rivoluzione dei dati territoriali**

L'avvento di Internet e della comunicazione globale, ma poi anche dei terminali smart a diffusione capillare, ha scardinato molte abitudini della società, ma in particolare sta rivoluzionando (anche se ancora con difficoltà) le modalità di studio del territorio e della pianificazione dei suoi assetti futuri. La circolazione senza limiti delle informazioni rende i documenti programmatici alla portata di chiunque in qualunque momento; l'affermazione della carta virtuale, con formati di trasmissione come il pdf (Portable Document File), ha sostituito il supporto cartaceo fisico in tutte le sedi, cosicché operazioni complesse, come quelle previste nelle fasi di partecipazione e di osservazione dei piani, sono divenute tecnicamente semplici e molto più "democratiche", consentendo realmente a tutti i cittadini, purché dotati di un apparecchio di accesso alla rete, di verificare i contenuti dei piani e il trattamento dei propri interessi da parte degli stessi.

La quantità di informazioni territoriali alle quali oggi un singolo individuo di ogni estrazione sociale e culturale può teoricamente accedere è enormemente più ampia che in qualunque altro momento storico e attività tecniche che una volta erano strettamente specialistiche sono divenute parte della cultura collettiva di base: basti pensare alla geolocalizzazione, solo qualche anno fa concetto noto esclusivamente a topografi o ingegneri/architetti/marinai/militari e oggi appartenente alla gestualità

quotidiana degli adolescenti negli applicativi di messaggistica mobile come Whatsapp a diffusione mondiale. Così come l'affermazione commerciale dei GPS e dei navigatori automobilistici ha portato intere coorti di popolazione, indipendentemente da età, occupazione, ceto e cultura a familiarizzarsi con la comprensione delle informazioni cartografiche, prima appannaggio degli operatori del settore.

Non si deve naturalmente credere che ogni anfratto tecnico e amministrativo sia stato pienamente permeato da questa rivoluzione tecnologica. Tutt'altro….ancora persistono caparbiamente delle incredibili sacche di arretratezza anche in comparti insospettabili. Alcuni comuni italiani non possiedono un proprio SIT, né tantomeno un PRG informaticamente trasmissibile; altri enti, in particolare pubblici, insistono ancora in una gestione cartacea dei propri dati e procedure, mentre può accadere talvolta di trovare piani territoriali disegnati con criteri tradizionali, cioè a penna e pastello, strumenti peraltro che ancora trovano sostenitori e praticanti anche nelle Università. Fortunatamente è in atto ormai un'inarrestabile spinta in senso contrario e i nuovi dipendenti degli uffici, più giovani e dall'educazione "digitale", iniziano ad applicare nel concreto ciò che la cultura corrente e l'insegnamento universitario si sforzano di accrescere e consolidare. Ciò nonostante è ancora piuttosto lenta la penetrazione nelle abitudini professionali di strumenti essenziali per il trattamento delle informazioni territoriali come i GIS, a causa della perdurante generalizzazione della elaborazione dei piani urbanistici mediante i più diffusi applicativi CAD. Tale pigrizia di adeguamento è indubbiamente dovuta alla maggior disponibilità nel decennio passato di software CAD, dall'ampio spettro di utilizzabilità, a prezzi accessibili per i professionisti rispetto al GIS, generalmente più costoso e meno flessibile nell'uso. Ma ormai sono disponibili sul WEB software GIS open source di elevata affidabilità e funzionalità che non giustificano in alcun modo le redazione di PRG tramite strumenti impropri (Zullo, 2016). Nel contempo l'insegnamento del GIS nelle Università si è notevolmente diffuso a formare una nuova generazione di professionisti perfettamente in grado di comprenderne la validità e la potenza nel trattamento di informazioni territoriali e ambientali, soprattutto nella ingegneria degli indicatori. Ciò ha comportato anche la nascita di nuove professioni: il disegnatore di un tempo è oggi divenuto un operatore GIS, capace di digitalizzare grandi quantità di informazioni geografiche, in modo manuale, semi-automatico o automatico, e di creare i corrispondenti database. Il mercato mondiale offre infatti vaste opportunità di acquisto/cessione di dataset cartografici in multiformi modalità (generatori di immagini virtuali come Google Earth, o formule WEBGIS come WMS o WFS tipiche dei geoportali istituzionali, fino ai download liberi o onerosi di layer raster e vettoriali). Altre implicazioni professionali riguardano l'enorme settore della

produzione di dati telerilevati (foto aeree) e la fotointerpretazione necessaria per l'estrazione di informazioni selezionate dalle basi cartografiche (uso del suolo, vegetazione, viabilità, edifici, reti idrografiche….). Un segnale della prepotente affermazione della richiesta collettiva di dati è fornito dalla frequenza di aggiornamento degli stessi: alcuni enti hanno cronosezioni di fotoaeree e derivati quasi a cadenza annuale, anche se sono ancora censibili casi estremi di autorità territoriali prive anche di una semplice carta di uso del suolo con data accettabilmente recente.

Il procedere del fenomeno di produzione e classificazione dei dati è comunque inarrestabile e manifesta intensità esponenziale, già presentando problemi non tanto di abbondanza, quanto di controllo della catalogazione in termini di omologazione e di protocollo dei contenuti, dei livelli di dettaglio e delle tecniche di acquisizione, tutti problemi di somma importanza per avere, a distanza di n anni, materiali che consentano confronti e comparazioni qualitativo-quantitative per evidenziare diacronicamente le modificazioni e i trend.

Già il semplice progresso tecnologico crea delle difficoltà nell'analisi comparativa diacronica. La Fig. 1.2 mostra due foto aeree utilizzate da una provincia italiana per l'interpretazione dell'uso del suolo nel 2002 e nel 2011, evidenziando una marcata differenza di risoluzione che rende inapprezzabili nel 2000 dei margini invece ben definiti nel fotogramma di dieci anni dopo. Questo carattere ha provocato una enorme differenza nei valori provinciali di copertura urbana registrati tra il 2002 e il 2011, pari al 62% in più, ma si è trattato di un risultato ingannevole in quanto attribuibile esclusivamente all'accuratezza diversa di estrazione del dato (Fig. 1.3).

Fig. 1.2 – *Differenze di risoluzione tra le foto aeree del 2002 e quelle del 2011*

Fig. 1.3 – *Analisi di accuratezza nella restituzione delle parti urbanizzate tra il rilievo del 2002 e quello del 2011*

Su questo fronte si deve registrare ancora una notevole carenza certamente causata dalla immaturità del settore, entusiasticamente proteso all'accumulo di moli di dati e ancora non conscio di una possibile, quanto non auspicabile, inutilità dei medesimi se tenuti al di fuori di un sistema classificatorio rigoroso. A tal proposito va rilevata la colpevole noncuranza a tutti i livelli nella dotazione dei metadata, senza i quali ogni dataset rischia di diventare su tempi medi parzialmente inutilizzabile per alcune funzioni che necessitino di una certificazione cronologica e di provenienza. Esiste addirittura una direttiva europea sui metadata (Bonora *et alii*, 2013), ma l'erogazione informativa degli enti pubblici presenta purtroppo molte pecche su questo punto.

**Il fast-planning**

La velocità, con buona pace dei sostenitori della slow life, è divenuta quindi un elemento sostanziale per la pianificazione. Una pianificazione "lenta" è praticamente inutile, già vecchia quando diventa attiva. La consueta elaborazione di piani su archi temporali multiannuali (quando va bene) o addirittura pluridecennali (non raramente) è da ritenersi priva di senso, più che altro simbolica, ma certamente non in grado di inseguire istanze e stimoli che società e territorio manifestano e rinnovano in continuazione. Forse una disciplina che avrebbe senso fondare è quella del "Fast Planning", ovvero una forma di pianificazione rapida, che risolve problemi impellenti in tempi adeguati, ma che ovviamente riesce a mantenere anche una coerenza con aspetti di strategia che, per loro natura, si appoggiano a tempi più lunghi. Per conseguire questo esito probabilmente l'uso estremo della tecnologia disponibile è l'unica chiave, passando alternativamente da analisi a simulazioni di scenario e viceversa, introducendo le tecniche del controllo adattativo (Landau et alii, 2011; Camacho et alii, 2007) per modulare i risultati alle attese degli stakeholders e delle amministrazioni.

Una anticipazione in tal senso è già insita nella riorganizzazione della struttura dei piani introdotta a metà degli anni ’90 con la distinzione tra Piano strutturale e Operativo, così come si è assistito a forme di pianificazione rapida nei casi emergenziali, ma i margini di miglioramento sono ancora molto ampi.
Gli applicativi GIS permettono di gestire elevati livelli di dettaglio anche su grandi superfici, risolvendo quindi molto bene la questione multiscalare sia in termini tecnici che economici.
Le mappe di uso del suolo su scala vasta erano un tempo inutilizzabili al livello dei comuni, ma non è più così: oggi una CUS regionale viene realizzata alla scala nominale dell’1:10.000/1:5.000, quindi del tutto compatibile con la richiesta di dettaglio espressa da un PRG (Fig. 1.4). Le modalità di produzione, catalogazione e archiviazione dei dati rendono estremamente veloci la fase di “conoscenza” che, per i piani, ha sempre costituito un momento difficile e lunghissimo. Idem si può affermare per la interrogazione dei database o la produzione di mappe tematiche, nonché la elaborazione di passaggi di overmapping e analisi spaziali anche molto complesse, rendendo del tutto praticabile il monitoraggio continuo ad alta frequenza (fast monitoring).

Fig.1.4 - *Esempio di corrispondenza ad elevato dettaglio tra una carta di uso del suolo regionale e una foto aerea utilizzata per il PRG. I codici riportano le diverse categorie d’uso secondo lo standard Corine Land Cover oggi utilizzato dalla maggior parte delle regioni italiane.*

L'elenco delle possibilità che si sono aperte è sterminato e sarebbe velleitario tentare di compilarlo: basti dire che, anche per un singolo comune appena esteso, sarebbe stato molto impegnativo computare la crescita delle parti urbanizzate, se non altro per le difficoltà tecniche di calcolo delle aree su carta con dispositivi come il planimetro (Fig. 1.5).

Fig. 1.5 – *Un planimetro, strumento utilizzato fino agli anni '90 per la misura rapida delle superfici da cartografia.*

Addirittura impensabile sarebbe stata poi una analisi del consumo di suolo regionale o nazionale. Infatti i tentativi di ricerca in tal senso ci sono anche stati, ma la ambizione di completezza territoriale si è infranta contro gli enormi ostacoli tecnologici di selezione delle aree e, appunto, di calcolo delle stesse. L'esempio più precoce ed ammirevole che sia stato effettuato in Italia risale al 1980 con la ricerca nazionale IT.URB.80, coordinata da Giovanni Astengo (Astengo e Nucci, 1990) che, pur con uno sforzo titanico di 88 ricercatori in 12 sedi universitarie italiane riusciva a studiare dei campioni di consumo di suolo su sezioni molto ristrette delle venti regioni (Fig. 1.6). Una elaborazione all'intera estensione nazionale come quella della Fig. 1.7 non avrebbe avuto alcuna chance reale di essere effettuata con accettabile affidabilità quantitativa, a meno di non disporre di migliaia di operatori e di tempi lunghissimi.

**Val di Susa**
**Consumi di suolo - Indici - (1961, 1981)**

| comune | mq/abitanti 1961 a/b | mq/abitanti 1981 a1/b1 | mq/vani 1961 a/c | mq/vani 1981 a1/c1 | mq/ n.a. x/y | mq/ n.v. x/z | mq/famiglia 1961 a/d | mq/famiglia 1981 a1/d1 | mq/abitaz. 1961 a/e | mq/abitaz. 1981 a1/e1 | mq/ n.f. x/g | mq/ n.ab. x/h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 Bardonecchia | 415 | 413 | 167 | 63 | 404 | 17 | 1.247 | 1.132 | 554 | 184 | 797 | 45 |
| 2 Oulx | 329 | 419 | 185 | 95 | 1.561 | 42 | 1.013 | 1.137 | 636 | 260 | 1.686 | 101 |
| 3 Sauze d'Oulx | 400 | 1.105 | 130 | 78 | 2.185 | 70 | 1.288 | 2.956 | 372 | 191 | 4.643 | 168 |
| 4 Cesana | 453 | 926 | 170 | 94 | 14.031 | 67 | 1.269 | 2.381 | 516 | 229 | 10.951 | 153 |
| 5 Sauze di Cesana | 555 | 1.630 | 260 | 257 | | 253 | 1.826 | 3.306 | 660 | 686 | 37.333 | 718 |
| 6 Claviere | 338 | 378 | 190 | 62 | 460 | 30 | 1.184 | 1.194 | 703 | 154 | 1.208 | 70 |
| 7 Exilles | 271 | 497 | 151 | 85 | 0 | 0 | 770 | 1.073 | 437 | 242 | 0 | 0 |
| 8 Salbertrand | 200 | 374 | 130 | 98 | | 57 | 618 | 935 | 404 | 308 | | 183 |
| 9 Chiomonte | 329 | 559 | 165 | 117 | | 78 | 954 | 1.379 | 502 | 326 | 5.865 | 204 |
| 10 Giaglione | 708 | 1.073 | 623 | 407 | | 223 | 2.227 | 2.723 | 1.973 | 1.436 | 5.763 | 873 |
| 11 Sestriere | 504 | 941 | 109 | 77 | 1.866 | 65 | 1.642 | 2.476 | 313 | 181 | 3.492 | 146 |
| 12 Graviere | 630 | 844 | 524 | 191 | 2.137 | 89 | 1.866 | 1.920 | 1.727 | 653 | 2.026 | 310 |
| 13 Moncenisio | 310 | 969 | 199 | 143 | 0 | 0 | 861 | 1.722 | 705 | 425 | 0 | 0 |
| 14 Novalesa | 207 | 263 | 183 | 88 | | 17 | 561 | 629 | 538 | 293 | 15.000 | 64 |
| 15 Venaus | 439 | 469 | 460 | 233 | 965 | 50 | 1.545 | 1.346 | 1.383 | 827 | 688 | 208 |
| 16 Mompantero | 511 | 705 | 534 | 232 | | 12 | 1.489 | 1.687 | 1.365 | 636 | | 34 |
| 17 Susa | 145 | 167 | 137 | 105 | 338 | 60 | 466 | 444 | 444 | 398 | 385 | 297 |
| 18 Meana di Susa | 323 | 477 | 160 | 92 | | 44 | 879 | 1.127 | 543 | 294 | 3.750 | 138 |
| 19 Bussoleno | 230 | 271 | 196 | 141 | 590 | 76 | 646 | 684 | 570 | 495 | 834 | 355 |
| 20 San Giorgio | 228 | 395 | 207 | 139 | | 58 | 645 | 888 | 545 | 414 | | 204 |
| 21 Chianocco | 163 | 319 | 154 | 159 | 2.040 | 164 | 497 | 821 | 422 | 526 | 1.946 | 675 |
| 22 San Didero | 428 | 795 | 390 | 391 | | 392 | 1.203 | 1.769 | 1.194 | 1.278 | 8.000 | 1.444 |
| 23 Bruzolo | 359 | 566 | 304 | 291 | 1.729 | 278 | 1.051 | 1.535 | 909 | 1.098 | 3.320 | 1.450 |
| 24 Villarfocch. | 217 | 266 | 166 | 125 | 1.017 | 69 | 566 | 634 | 450 | 405 | 1.052 | 306 |
| 25 Sant'Antonino | 227 | 227 | 196 | 131 | 227 | 72 | 643 | 627 | 591 | 486 | 591 | 341 |
| 26 Vaie | 208 | 277 | 187 | 133 | | 48 | 540 | 674 | 503 | 458 | | 295 |
| 27 Chiusa S. Mich. | 269 | 248 | 220 | 146 | 122 | 27 | 822 | 677 | 711 | 553 | 204 | 141 |
| 28 Mattie | 320 | 496 | 269 | 120 | | 3 | 898 | 1.133 | 700 | 318 | | 9 |
| 29 Borgone | 257 | 323 | 224 | 180 | | 92 | 700 | 765 | 635 | 640 | 1.425 | 663 |
| 30 Condove | 446 | 514 | 399 | 224 | | 47 | 1.285 | 1.275 | 1.113 | 747 | 1.193 | 193 |
| 31 Caprie | 310 | 425 | 251 | 216 | 1.139 | 175 | 885 | 1.092 | 714 | 670 | 1.800 | 608 |
| 32 Sant'Ambrogio | 204 | 274 | 185 | 179 | 554 | 171 | 603 | 788 | 558 | 669 | 1.414 | 942 |
| 33 Villardora | 287 | 340 | 210 | 180 | 515 | 143 | 783 | 861 | 649 | 636 | 1.054 | 614 |
| 34 Almese | 207 | 283 | 158 | 142 | 421 | 131 | 585 | 749 | 488 | 559 | 1.002 | 644 |
| 35 Rubiana | 264 | 916 | 103 | 136 | | 160 | 726 | 2.168 | 294 | 472 | 17.698 | 645 |
| 36 Caselette | 447 | 611 | 447 | 417 | 697 | 408 | 1.430 | 1.795 | 1.365 | 1.654 | 1.963 | 1.781 |
| 37 Avigliana | 203 | 195 | 176 | 128 | 175 | 68 | 609 | 520 | 583 | 492 | 353 | 327 |
| Tot. Val Susa | 281 | 372 | 206 | 135 | 970 | 82 | 821 | 967 | 623 | 425 | 1.456 | 265 |
| 38 Rivoli | 207 | 120 | 220 | 104 | 61 | 47 | 287 | 363 | 660 | 361 | 930 | 177 |
| 39 Grugliasco | 254 | 124 | 326 | 124 | 40 | 34 | 389 | 385 | 903 | 374 | 368 | 108 |
| Totale | 262 | 654 | 220 | 128 | -299 | 68 | 562 | 670 | 657 | 407 | 1.127 | 0 |

n.a. nuovi abitanti residenti (differenza tra la popolazione alla seconda data di riferimento e la popolazione alla prima data)
n.v. nuovi vani (differenza tra i vani esistenti alla seconda data di riferimento e i vani alla prima data)
n.f. nuove famiglie (differenza tra le famiglie insediate alla seconda data di riferimento e le famiglie alla prima data)
n.ab. nuove abitazioni (differenza tra le abitazioni esistenti alla seconda data di riferimento e le abitazioni alla prima data)

Fig. 1.6 - *Una delle tabelle realizzate dalla ricerca It.Urb 80 per il campione territoriale della Val di Susa e riportate nella pubblicazione del 1990 (Astengo e Nucci, 1990)*

Realizzare oggi piani urbanistici ancora in 5-6 anni significa aver fermato il tempo alla fine degli anni'80, senza cogliere l'enormità della rivoluzione tecnologica nel frattempo avvenuta. Evidentemente ci sono fasi del piano ancora difficili, come quelle politiche, della costruzione del consenso, della partecipazione alle scelte, ma anche queste sono ormai tecno-assistibili e quindi attengono a nuovi comportamenti degli attori politici e della dirigenza degli uffici di piano.
Quasi correndo il rischio di essere blasfemi forse si può affermare che l'arco cronologico adeguato ai tempi per l'elaborazione di un piano è dell'ordine di 1-2 anni, dalla partenza all'approvazione, per formare la base di start. Successivamente

le risorse umane e tecniche a disposizione dovrebbero servire al “fast monitoring”, cioè alla continua registrazione degli avvenimenti trasformativi e al loro controllo adattativo sempre agganciato alle strategie di partenza.

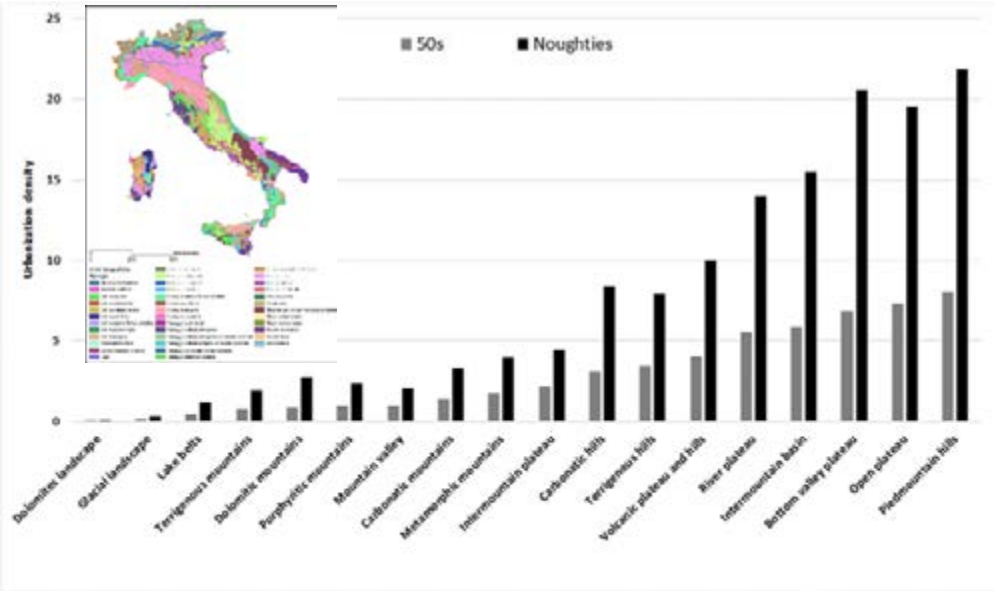



Fig. 1.7 - *La dinamica dell’urbanizzazione tra gli anni ’50 e il 2000 nelle unità fisiografiche italiane individuate dall’ISPRA nel 2004 (Romano e Zullo, 2016)*

Fig. 1.8 - *(a sinistra) - una sessione di partecipazione di PRG con tecnici dotati di strumenti GIS che registrano le osservazioni in tempo reale; (a destra) Shanghai Urban Planning Exhibition Center. I progetti di edifici e infrastrutture in programmazione vengono mostrati al pubblico con un plastico estremamente dettagliato.*

Le fasi partecipative dei piani dovrebbero sostanzialmente esprimersi nei dispositivi di trasparenza, totale e incondizionata, come il WEB e gli Urban Center riescono a garantire ad ogni fascia di cittadini.

## 1.2. Il controllo adattativo nel piano: dalla teoria alla possibilità

**Strategia e operatività**

Si parla spesso di rilancio della pianificazione, anche perché averla considerata un ostacolo alla crescita economica, e quindi fortemente indebolita, non ha dato nel nostro Paese buoni risultati. Dando per scontato che una pianificazione territoriale e urbanistica con giusto grado di cogenza è necessaria, forse l'unico modo per rivalutarla è distanziarsi dalle modalità pachidermiche che l'hanno contraddistinta finora, facendo diventare i piani strumenti agili più somiglianti a progetti urgenti, anzi in continuità con i progetti, ma usando le portentose tecnologie a disposizione per inquadrare le azioni all'interno di più ampi quadri strategici senza i quali qualunque piano è un esercizio estemporaneo senza grande futuro. Indubbiamente già alcuni di tali concetti sono presenti nella attuale configurazione sdoppiata del PRG introdotta a metà degli anni '90, divisa in strutturale e operativo. Il piano strutturale dovrebbe assumere funzioni di rilevatore strategico delle macro-problematiche, è un documento di indirizzo, programmatico, non prescrittivo e che guarda a tempi lunghi. Definisce le indicazioni strategiche del governo del territorio che discendono anche da vincoli e indicazioni sovraordinate (regionali, nazionali, europee). Anche se in termini di contenuti sembrerebbe più avere fisionomia di "programma", in molti casi si tende però a configurarlo come un piano tradizionale, con tanto di indicazioni sinottiche e spaziali a media scala (Fig. 1.9). Ciò comporta naturalmente un allungamento importante dei tempi (mediamente alcuni anni) che è in antitesi con l'osservazione "da alta quota" che uno strumento preliminare dovrebbe esprimere. Probabilmente i contenuti di questi piani sono troppo spinti in relazione all'idea originale della loro funzione, in quanto hanno una forte somiglianza con gli strumenti di "prima generazione" e con il loro apparato di zoning+indici a basso tenore di controllo. Infatti, esaminando poi le stesse aree nella sezione operativa del piano (Fig. 1.10) si nota spesso che la definizione zonale è sostanzialmente analoga con pochi dettagli "operativi" in più. Ciò evidentemente ribadisce una interpretazione fuorviante del carattere "strategico" del piano strutturale che però, come già più volte sottolineato, ne allunga i tempi in modo oggi poco accettabile. La ricerca di una rigidezza ancora cospicua nelle fasi strutturali dei piani è da attribuire, almeno in parte, alla scarsa fiducia che si ripone nelle procedure di controllo adattativo, che la cultura politica e urbanistica italiana tende a

considerare (e talvolta ad introdurre) come modalità di aggiramento indiscriminato delle regole e non come applicazione “scientifica” di metodi di aggiustamento in itinere dei processi di gestione, ma sempre in coerenza con le strategie di partenza.

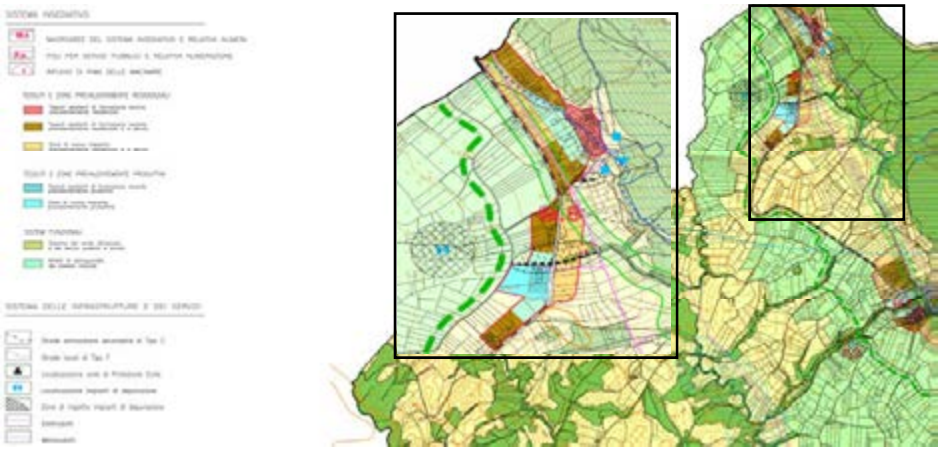


Fig. 1.9 - *Esempio di contenuto sinottico e cartografico di un piano strutturale*

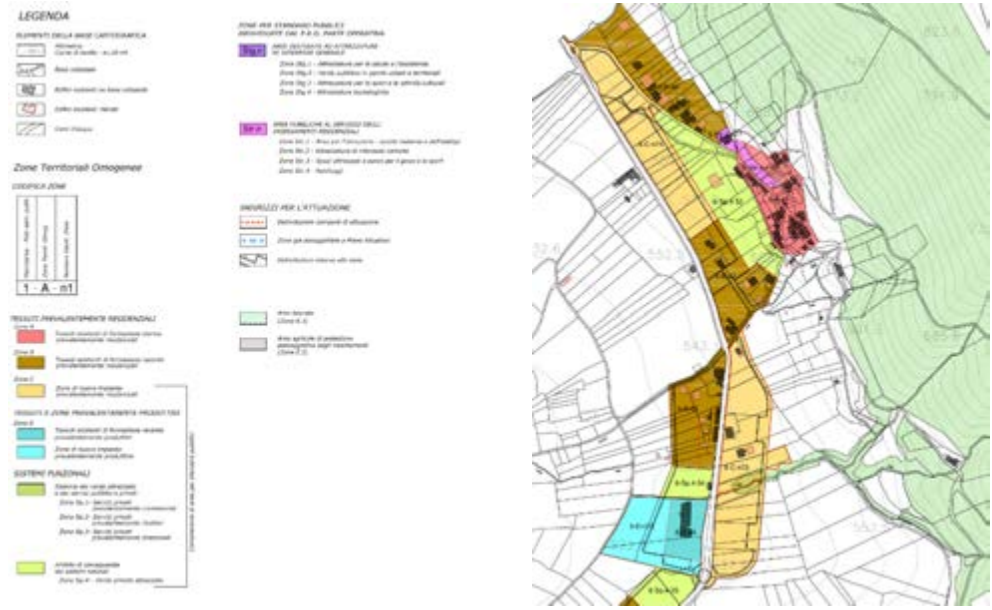
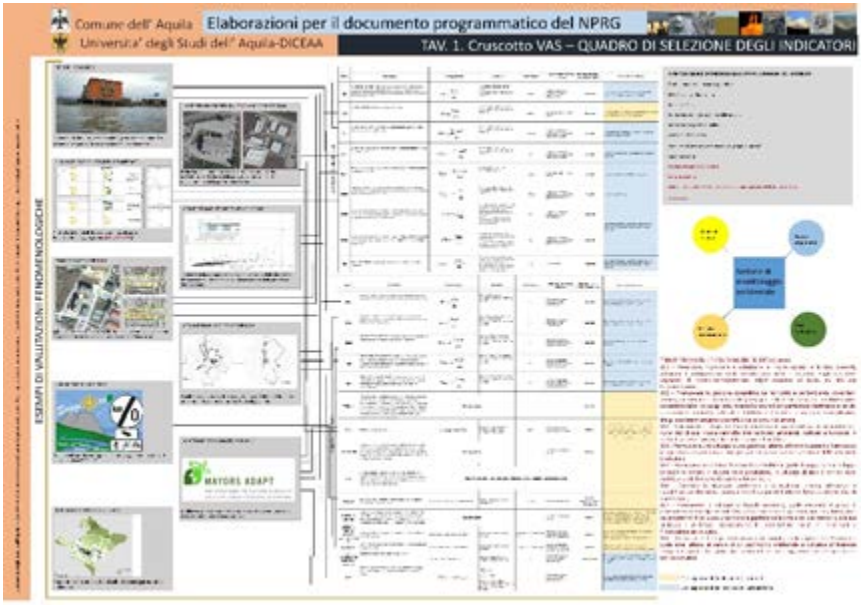
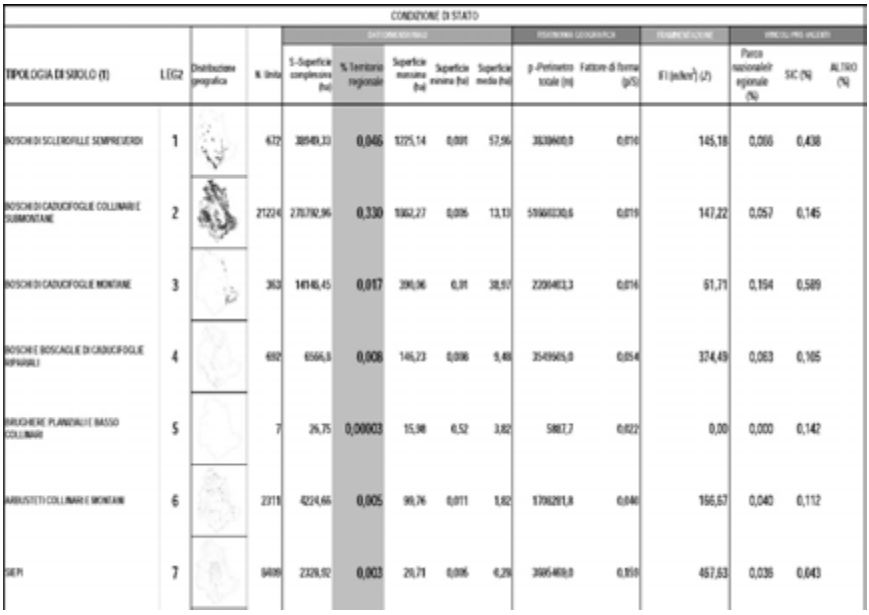



Fig. 1.10 - *Esempio di contenuto sinottico e cartografico di un piano operativo*



| | | | | CONDIZIONE DI STATO | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TIPOLOGIA DI SUOLO (1) | LEG2 | Distribuzione geografica | N. Unità | S-Superficie complessiva (ha) | % Territorio regionale | Superficie massima (ha) | Superficie minima (ha) | Superficie media (ha) | p-Perimetro totale (m) | Fattore di forma (p/S) | IFI (adim²) (J) | Parco nazionale/regionale (%) | SIC (%) | ALTRO (%) |
| BOSCHI DI SCLEROFILLE SEMPREVERDI | 1 | | 432 | 38949,33 | 0,046 | 1225,14 | 0,001 | 57,96 | 3838460,0 | 0,014 | 145,18 | 0,066 | 0,438 | |
| BOSCHI DI CADUCIFOGLIE COLLINARI E SUBMONTANE | 2 | | 21224 | 270782,96 | 0,330 | 1062,27 | 0,006 | 13,13 | 5196602,6 | 0,019 | 147,22 | 0,057 | 0,145 | |
| BOSCHI DI CADUCIFOGLIE MONTANE | 3 | | 362 | 14146,45 | 0,017 | 396,96 | 0,01 | 38,97 | 2206403,3 | 0,014 | 61,71 | 0,194 | 0,589 | |
| BOSCHI E BOSCAGLIE DI CADUCIFOGLIE RIPARIALI | 4 | | 692 | 6566,6 | 0,008 | 146,23 | 0,006 | 9,48 | 3549965,0 | 0,054 | 374,49 | 0,063 | 0,165 | |
| BRUGHIERE PLANIZIALI E BASSO COLLINARI | 5 | | 7 | 26,75 | 0,00003 | 15,98 | 0,52 | 3,82 | 5887,7 | 0,022 | 0,00 | 0,000 | 0,142 | |
| ARBUSTETI COLLINARI E MONTANI | 6 | | 2311 | 4214,66 | 0,005 | 99,76 | 0,011 | 1,82 | 1706201,8 | 0,040 | 166,67 | 0,040 | 0,112 | |
| SIEPI | 7 | | 8499 | 2328,92 | 0,003 | 26,71 | 0,006 | 4,29 | 3696469,0 | 0,159 | 467,63 | 0,036 | 0,043 | |

Fig. 1.11 – *Due esempi di consolle di indicatori: in alto un cruscotto per la VAS e in basso un Registro di Suolo.*

Con il termine controllo adattativo si fa riferimento a leggi di controllo che adeguano i propri parametri per adattarsi alle modifiche che il sistema può subire durante l'esercizio delle sue funzioni. Una classica azione del controllore adattativo è relativa a quei sistemi che subiscono perturbazioni intense, frequenti e non prevedibili neanche a medio termine, esattamente come il territorio contemporaneo, in particolare quello urbano e periurbano. In questi casi il controllore adattativo, modificando i suoi parametri, garantisce una coerenza almeno parziale delle traiettorie predefinite in sede di piano, pur consentendo la plasticità delle politiche gestionali alle nuove condizioni poste dalle perturbazioni stesse. L'attivazione sistematica di procedure di controllo adattativo nella gestione della città e del territorio richiede una piattaforma informativa strutturata e aggiornata in continuità, tendenzialmente concretizzabile nelle "consolle" di indicatori (Fig.1.11). Si intendono per tali delle strutture di parametri appositamente selezionati per restituire, direttamente o con correlazioni multiple, la complessità dei fenomeni più importanti per la gestione. L'ingegneria degli indicatori prevede quindi processi di ottimizzazione per ottenere set di parametri numericamente il più ridotti possibile, ma con il contenuto informativo più elevato possibile, per consentire agevolmente analisi comparative e valutazione dei trend, sia per l'attività ordinaria degli uffici di piano, ma anche per quella straordinaria e per le valutazioni obbligatorie come la VAS. Questi edifici di indicatori, e le realtà che rappresentano, hanno attualmente la possibilità di essere effettivamente messi in essere dalle amministrazioni, istituendo appositi uffici tecnici dedicati al "monitoraggio e controllo della qualità gestionale" e, quindi, alle revisioni di traiettoria programmatica indotte dalle variazioni, a volte imprevedibili, che il territorio subisce con grande rapidità.

**UAV e fast monitoring**

Nel fast monitoring che costituisce l'elemento chiave nella conduzione di un controllo adattativo efficiente, ricoprono, come già detto, un ruolo centrale certamente i GIS, ma interfacciati con i sistemi a Pilotaggio Remoto (SAPR o UAV in inglese, Unmanned Aerial Vehicle), genericamente definiti droni, che, dopo un periodo di progressivo miglioramento qualitativo nelle prestazioni di volo e di ripresa, stanno vivendo una stagione di diffusione straordinaria, con un frenetico aumento dei campi di applicazione, dei modelli e delle prestazioni. Dal semplice modellismo amatoriale, alla cinematografia e documentaristica, alla topografia classica, all'agricoltura di precisione, al monitoraggio territoriale-ambientale, alla meteorologia, all'uso combinato con piattaforme GIS i SAPR stanno aprendo uno scenario impressionante di innovazione. Si tratta di veri e propri "estrattori" di dati, dalla notevole duttilità d'uso e con grande ampiezza di applicazioni.

Nell'area tematica di interesse di questo libro, lo studio territoriale per la pianificazione, le potenzialità dei droni vengono utilizzate con interfaccia GIS, per velocizzare ancora di più le operazioni finalizzate al progetto di territorio che già i software GIS, come dimostrato in precedenza, hanno portato a traguardi impensabili. Le letture territoriali e ambientali possibili attraverso SAPR sono estremamente dettagliate, ma, cosa ancora più importante, i dati sono acquisibili con rapidità inconcepibile prima e a costi irrisori rispetto alle tecniche tradizionali (foto aeree o riprese da elicottero). In particolare l'uso sapiente e combinato di apparecchi piccoli e low cost (peso intorno ai 2 kg e prezzi dell'ordine dei 1.500 €) e di software GIS open source (quindi completamente gratuite) aprono ai giovani professionisti grandi spazi di lavoro. Ma se per cogliere le opportunità produttive non c'è più bisogno di forti investimenti economici è però necessario un enorme bagaglio di conoscenze tecnico-scientifiche non facile da conseguire. Già la sola abilità di pilotaggio degli apparecchi, pur se al di sotto dei 2 kg, richiede tempi e licenze adeguate per poter operare in condizioni di sicurezza, ma anche la conoscenza di alcune caratteristiche tecniche non può essere trascurata. Affrontare situazioni rischiose, che possono presentarsi molto più frequentemente di quanto sia ottimisticamente prevedibile, richiede concentrazione e capacità sperimentate, soprattutto nelle aree critiche che per i tecnici della pianificazione rappresentano un contesto possibile. La conoscenza della normativa, inoltre, con tutti gli aggiornamenti che si susseguono quasi a ritmo annuale, è inevitabile così come l'assolvimento di tutte le procedure burocratiche ENAC per l'iscrizione nei registri degli operatori. A tutto ciò vanno poi sommate le indispensabili conoscenze per la raccolta dati: software e metodi di missione e di elaborazione delle informazioni, a cui deve far seguito una approfondita conoscenza degli applicativi GIS, già di per sé non banale, soprattutto se si proietta poi nella direzione dell'analisi dei dati con strumentazioni statistiche e geospaziali.
Come si può dedurre si tratta quindi di formare, anche nelle Università, ma non solo, operatori tecnico-scientifici dalla cultura molto sofisticata e interrelata, ma anche di impiantare filiere di formazione continua per l'aggiornamento delle novità che si accavallano a ritmi tumultuosi. Nell'Accademia italiana non è facile trovare spazi per nuove discipline a causa di una ingessatura strutturale dei settori scientifico disciplinari e, soprattutto, della velata ostilità verso argomenti transdisciplinari, che provocano spesso rivendicazioni di monopolio da parte dei detentori storici di alcune conoscenze.

## Cap. 2 Analisi GIS a supporto della pianificazione territoriale (F. Zullo)

### 2.1. I Sistemi Informativi Geografici nello studio del territorio

Un sistema informativo è un insieme ordinato di elementi che raccolgono, elaborano scambiano ed archiviano dati al fine di supportare le decisioni dell'ente/azienda per il quale esso stesso è stato implementato. Il progresso tecnologico, in chiave di sviluppo hardware e software, ha svolto un ruolo di primaria importanza nell'evoluzione dei sistemi informativi rendendoli di dimensioni sempre maggiori aumentando al contempo la complessità e la capacità di elaborazione dei dati. Non solo, la necessità di lavorare con informazioni di qualità elevata e di estremo dettaglio, quali ad esempio quelli rilevati da un drone, ha favorito anche una elevata specializzazione del personale addetto alla sua implementazione/gestione. I costi legati ai processi di acquisizione dei dati sono oggi minori rispetto a qualche tempo fa ed è possibile, grazie alle nuove tecnologie, acquisire informazioni territoriali di estremo dettaglio anche in autonomia. Appunto per questo è fondamentale che gli operatori di tali sistemi abbiamo un bagaglio cognitivo elevato per la corretta implementazione ed utilizzazione. Il dato, qualunque sia la sua natura (spaziale, territoriale o di altro tipo), è il cuore pulsante di un sistema informativo: dalla sua genesi, dal suo utilizzo e dalle sue elaborazioni dipende l'efficacia di determinate scelte o strategie per conseguire scopi ben determinati. E' fondamentale quindi che sia ben chiaro e definito l'obiettivo per cui il sistema informativo viene realizzato in modo da massimizzare l'efficacia e l'efficienza dello stesso, delle risorse disponibili ed i processi di gestione delle risorse stesse. Il GIS (Geographic Information System) rappresenta attualmente uno strumento tra i più potenti disponibili e di natura trasversale in quanto permette di integrare al suo interno informazioni di varia provenienza e di varie tematiche che riguardano una particolare area geografica. Rappresentano quindi degli ottimi strumenti di conoscenza, analisi e diagnosi territoriale che rivestono oggi un ruolo fondamentale nelle scienze e nell'ingegneria del territorio (Dueker, 1979; Ozemoy et alii, 1981; Devine & Field, 1986; Burrough, 1986; Department of environment, 1987; Smith et alii, 1987; Cowen, 1988; Mogorovich e Mussio, 1988; Aronoff, 1989; Carter, 1989; Koshkariov et alii, 1989; Parker, 1989; Peverieri, 1995). I sistemi informativi territoriali (SIT) sono invece un insieme complesso di strumenti hardware e software, di risorse umane ed intellettive utili acquisire, processare, analizzare, immagazzinare e restituire in forma grafica dati riferiti ad un territorio. Per cui un GIS rappresenta una componente di un SIT. I SIT lavorano appunto con una informazione di tipo territoriale simile a quella spaziale (forma, posizione e dimensione degli oggetti – proprietà geometriche) ma

esplicitamente diretta ad oggetti del mondo reale e alle relazioni esistenti tra di essi. Ciò vuol dire che ogni elemento di un SIT è rintracciabile geograficamente sulla superficie terrestre attraverso le sue coordinate riferite ad uno specifico sistema di riferimento. La possibilità quindi di disporre di conoscenze e di informazioni di natura geografica, anche molto dettagliate, unitamente alla progressiva riduzione dei costi dell'attrezzatura informatica, con prestazioni sempre più potenti, ha fatto sì che questi sistemi si diffondessero in diversi settori scientifici, economici ed istituzionali (Borruso, 2013). In definitiva un GIS può definirsi come un insieme di strumentazioni hardware e software che consente di integrare informazioni grafiche ed alfanumeriche riferite ad una precisa realtà geografica, rendendo possibili una serie di operazioni quali l'acquisizione, la strutturazione, la memorizzazione, l'analisi, l'elaborazione e la rappresentazione di dati (Parente & Santamaria, 2004). Esso può quindi essere inteso come un software di produzione, visualizzazione e gestione di mappe (rappresentazione di un insieme di dati) alla cui base si colloca un database funzionale costituito da informazioni di tipo geografico e non che, attraverso l'analisi spaziale, ovvero la possibilità di accedere sia agli attributi degli oggetti sia alle informazioni sulla loro localizzazione (Goodchild, 1991), rende l'uso di questa tecnologia indispensabile per l'analisi dei processi e delle dinamiche territoriali. L'informazione territoriale è spesso associata alla cartografia che da sempre è stato lo strumento per rappresentare gli oggetti del mondo reale, siano essi esistenti nel mondo fisico (edifici, strade, fiumi, boschi, limiti amministrativi comunali…), associati ad informazioni di tipo ambientale -territoriale non tecnicamente visibili ma comunque rappresentabili cartograficamente (mappe climatiche, mappe pluviometriche, mappe dell'inquinamento…) o anche oggetti reali, ma non visibili come ad esempio le reti dei sottoservizi. La conoscenza del territorio, inteso quest'ultimo come un sistema complesso che si evolve nel tempo e che subisce costantemente trasformazioni di origine naturale e antropica, delle sue unità e dei processi che in esso hanno luogo è di fondamentale importanza nell'ottica di una gestione e di uno sviluppo sostenibile. Ogni territorio è soggetto a scelte trasformative dettate dalle politiche mosse da autorità governative a vari livelli (regioni, città metropolitane/province, comuni) e che si esprimono attraverso i piani. Già nella parte iniziale si è discusso delle problematiche legate al vecchio modo di interpretare e applicare i disegni urbanistici dettati da un qualsivoglia piano, si vuole ora quindi focalizzare l'attenzione sull'utilizzo degli strumenti GIS nei processi di pianificazione e più in particolare di questo nuovo connubio GIS-UAV (Unmanned Aerial Vehicle o APR in italiano - Aeromobili a Pilotaggio Remoto). La possibilità di rilevare e di monitorare in continuo il territorio permette quindi di cogliere e misurare ogni singolo cambiamento che avviene su una determinata area di studio.

Questo rende possibile l'applicazione di quei meccanismi di feedback necessari a verificare la validità dei contenuti del piano nel tempo ma anche di poter apportare delle opportune modifiche (controllo adattativo) quasi in tempo reale (real time control) qualora le scelte di pianificazione rivelassero avere degli elevati impatti sul territorio. Non solo, anche nella pianificazione di emergenza questi strumenti possono svolgere un ruolo chiave nel rilievo dell'area interessata da un evento calamitoso (si pensi agli ultimi terremoti dell'Italia centrale ad esempio) fornendo le basi per lo studio del fenomeno stesso e al contempo una mappa ad alta risoluzione attraverso la quale pianificare le misure emergenziali. Un altro importante vantaggio appannaggio di queste tecnologie sono i tempi ed i costi delle operazioni rispetto alle tecniche utilizzate sino ad oggi (riprese aeree o da satellite); va però precisato che l'utilizzo di tali strumentazioni richiede una cospicua conoscenza di tipo tecnico-scientifica acquisita attraverso una formazione continua e costante nel tempo vista la velocità con cui si evolvono sia la strumentazione tecnologica sia la normativa di settore. E' ormai evidente che gli strumenti GIS offrono un importante e fondamentale supporto alla pianificazione territoriale non solo per la gestione dell'informazione geografica in sé ma anche per tutta una serie di analisi e di applicazioni ad essa strettamente legate (come ad esempio la valutazione preventiva degli effetti dei nuovi assetti territoriali generati dall'applicazione delle scelte di piano o anche l'elaborazione di scenari dettati da politiche e/o strategie diverse).

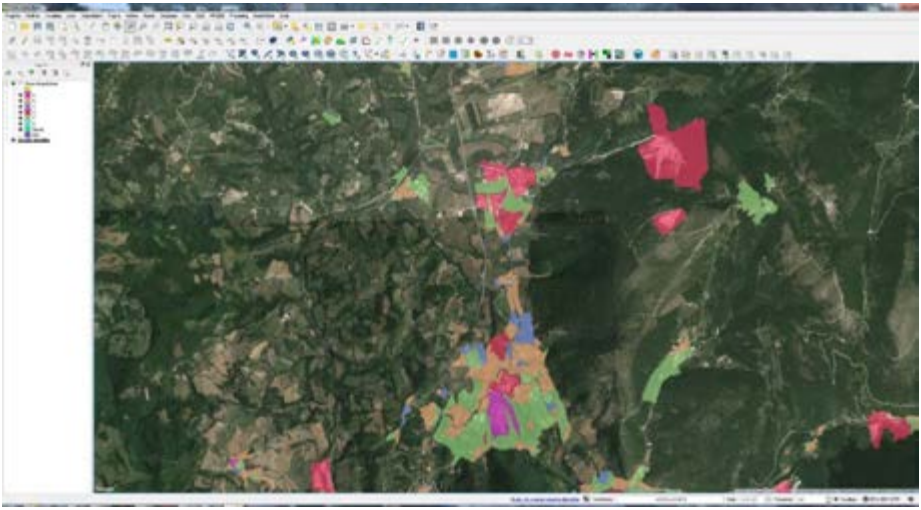


Fig. 2.1 - *Cartografia di zoning di Piano Regolatore su base Google Earth.*

Nonostante si cerchi ormai l'automazione in quasi tutti i processi che riguardano la società moderna, l'implementazione di un sistema informativo territoriale e la sua gestione nel tempo hanno bisogno di un continuo e costante supporto di un operatore. L'intervento dell'uomo è irrinunciabile in tutte le fasi operative di un SIT dalla fase progettuale, a quella di restituzione e presentazione dei dati, passando per quella di acquisizione ed elaborazione dell'informazione. L'uso dell'informazione geografica è quotidiano nella società attuale grazie soprattutto allo sviluppo di software e di applicazioni per smartphone con interfacce grafiche sempre più user-friendly. A questo va aggiunta anche la maggiore accessibilità e produzione dell'informazione geografica attraverso geoportali di enti amministrativi (Regioni, città metropolitane/province e comuni) e di vari portali di istituzioni di livello nazionale (es: dati.gov.it – i dati della pubblica amministrazione, il geoportale nazionale o anche il portale dell'ISPRA). In particolare, grazie all'ausilio di tecnologie sempre più efficienti ed efficaci, vengono sviluppate nuove procedure volte ad accelerare la produzione di cartografia e l'aggiornamento dell'informazione geografica. Tutto questo ha condotto ad una nuova concezione della cartografia, non certo dei suoi paradigmi fondamentali, quanto invece nei metodi di divulgazione e diffusione oltre che di correlazione tra vari tipi di informazioni territoriali e altre in qualche modo collegate con esso. Anche se complessi da un punto di vista strutturale, con operazioni di inserimento dati abbastanza onerose in termini di tempo e di risorse, alle quali vanno aggiunti i processi di conservazione, elaborazione e gestione dei dati acquisiti, i sistemi informativi territoriali hanno rivoluzionato il modo di analizzare e di rappresentare il territorio. Il supporto informatico insieme alla componente software garantiscono infatti una elevata plasticità e dinamicità del prodotto cartografico, potendo infatti apportare modifiche di qualsiasi tipo, aggiornare mappe in tempo reale ed in modo continuo senza dover essere vincolati al supporto cartaceo per il quale, ad ogni modifica o aggiornamento, è necessario stampare nuovamente l'elaborato. Viene meno anche il vincolo legato alla scala in quanto questa può essere cambiata continuamente non essendo più statica come accadeva per la rappresentazione su carta. Attraverso i sistemi informativi territoriali, la cartografia diventa quindi uno strumento con il quale non solo rappresentare il territorio ed i suoi aspetti ma anche e soprattutto uno strumento analitico in grado di integrare informazioni geografiche di varia provenienza, di comprendere ed analizzare i molteplici aspetti coinvolti nelle dinamiche territoriali ad ogni livello. Il territorio è infatti per sua natura un insieme complesso di elementi che evolve e si modifica nel tempo e che necessita di una conoscenza multidisciplinare al fine di definirne le sue caratteristiche per una gestione che sia sostenibile nel lungo periodo. L'importanza dell'informazione geografica nella

gestione di problematiche riguardanti non solo l'ambiente, ma anche la salute pubblica, la gestione delle emergenze, l'agricoltura, lo sviluppo sostenibile, i beni culturali, la mobilità ed i servizi pubblici è confermata anche dalle normative emanate a livello europeo e nazionale (Direttiva Inspire 2007/2/CE, Regolamento Europeo 1089/2010, D.Lgs. n. 32/2010) dove, a partire dal Sesto Programma Quadro della Commissione Europea, si consolida e si rafforza l'utilizzo dei dati geografici nell'ambito dei processi decisionali e di analisi delle tematiche precedentemente elencate. Come detto, l'avvento delle nuove tecnologie, l'utilizzo della rete internet e di sistemi di trasmissione dati sempre più veloci hanno portato a quella che Goodchild (2007) ha definito democratizzazione dell'informazione geografica legata al concetto dei cittadini "sensori" e al mondo dell'informazione geografica volontaria (Eisnor, 2006; Turner, 2006; Hudson-Smith et al., 2008; Hudson-Smith & Crooks, 2008, Borruso, 2010) diffondendo di fatto gli strumenti geografici anche tra i non professionisti o accademici. Pur in presenza di queste migliorie tecnologiche si sottolinea ancora una volta che resta ineliminabile la formazione professionale degli operatori tecnici affinché si possa irrobustirne la validità, l'utilizzo, la divulgazione e l'applicazione nei quotidiani processi decisionali nei più svariati campi.

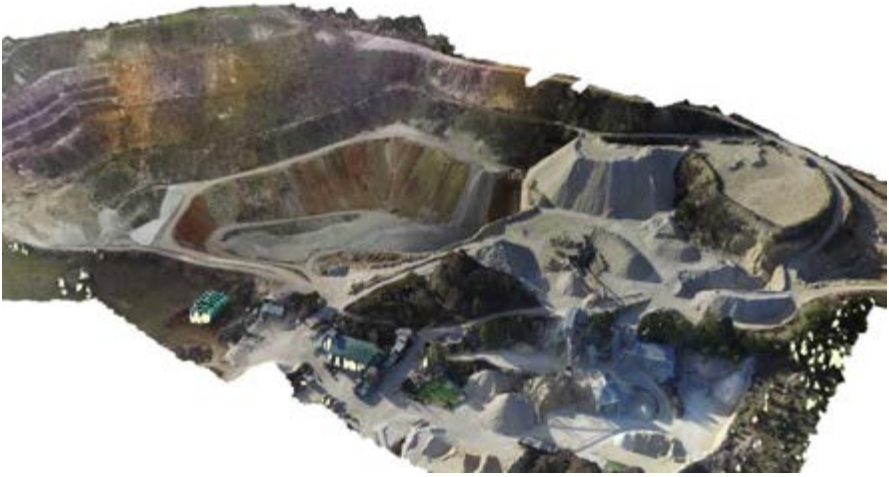


Fig. 2.2 - *Ricostruzione 3D di una area di cava attraverso dati acquisiti da drone elaborati in ambiente GIS.*

Attualmente molte società, organizzazioni, enti pubblici e privati hanno iniziato a costruire ed implementare geodatabase strutturati secondo gli obiettivi di lavoro di ciascuno di essi. Il dato geografico è di fatto utilizzato, esplicitamente o

implicitamente, nella maggior parte delle attività e delle organizzazioni pubbliche e private, intervenendo globalmente a tutti i livelli di interesse, dal processo decisionale alla realizzazione operativa. La possibilità concreta di caratterizzare i beni del territorio sotto molteplici aspetti e al contempo lo studio di insieme di questi che costituisce le potenzialità intrinseche del territorio stesso è prerogativa fondamentale della pianificazione territoriale e può essere adeguatamente supportata solo ed esclusivamente da un robusto sistema GIS. La conoscenza e la gestione del territorio quale elemento complesso non può ormai prescindere dall'uso integrato di queste tecnologie (GIS-UAV) che, come detto, rappresentano la nuova frontiera delle scienze e dell'ingegneria del territorio. La completa integrazione tra UAV e GIS permette di coniugare due aspetti fondamentali per la diagnosi dei fenomeni territoriali, ovvero l'alta risoluzione e la velocità di acquisizione dati dei droni con la grande capacità di elaborazione dei software geografici. Le applicazioni dei nuovi sistemi GIS-UAV sono molteplici poiché, oltre ad apportare nel settore nuove tecnologie e tipologie di dati, rinnovano le potenzialità degli strumenti e delle procedure attualmente in uso attraverso informazioni ad altissima risoluzione. Le peculiarità di questi strumenti li portano ad un'utilizzabilità trasversale, in quanto grazie ad essi si aprono prospettive di operatività in quasi tutti i settori scientifici coinvolti nella conoscenza del territorio e dell'ambiente a qualsiasi livello. Per la pianificazione territoriale e per le valutazioni ambientali questo connubio può rappresentare di fatto un nuovo ed interessante approccio nel modo di analizzare i fenomeni e le potenzialità territoriali. La possibilità di monitorare velocemente le modificazioni di un territorio (fast monitoring), di elaborare strumenti di pianificazione in tempi brevi (fast planning), di valutarne in tempi ragionevolmente rapidi i possibili effetti delle varie alternative di piano considerate, la possibilità concreta di utilizzare tecniche di controllo adattativo nella gestione delle città e del territorio il tutto ad elevata risoluzione geometrica, costituiscono oggi interessanti applicazioni che permettono di avere un pieno controllo nelle politiche di gestione territoriale.

### 2.2. Software GIS Open Source e diffusione dell'informazione geografica nel WEB

La nascita e lo sviluppo nel tempo dei sistemi informativi territoriali hanno rappresentato una vera e propria congiuntura critica nel mondo della cartografia e dell'informazione geografica in genere tanto che già nel 1987 il Dipartimento Inglese per l'Ambiente definiva così la loro importanza: *"…I Sistemi Informativi Geografici sono tanto rilevanti per l'analisi spaziale quanto le invenzioni del microscopio e del telescopio lo furono per la scienza, il computer per l'economia, e la stampa per la*

*diffusione dell'informazione…"*. Tutti i GIS infatti possiedono una serie di funzioni e strumenti specifici utili alla comprensione dei fenomeni territoriali e alla elaborazione di scenari evolutivi-diagnostici attraverso trasformazioni, interpolazioni, elaborazioni e metodi che permettono di accedere contemporaneamente sia agli attributi spaziali sia a quelli alfanumerici ad essi collegati. E' l'elemento che rende il GIS un vero strumento di supporto alle decisioni, in quanto tali funzioni consentono il confronto e la sintesi di grosse quantità dati, mentre le funzioni di simulazione consentono di effettuare stime e scenari su andamenti futuri di uno o più fenomeni complessi. Le tecniche ed i metodi utilizzati a tale scopo definiscono l'analisi spaziale che è dunque la prerogativa fondamentale di ogni sistema informativo territoriale e ne rappresenta l'elemento principale e caratterizzante, ma al tempo stesso anche il più complesso da utilizzare in maniera corretta. L'analisi spaziale mette quindi in evidenza quelle relazioni già presenti in maniera implicita negli elementi geografici di partenza, ma che sono difficili da comprendere a pieno solo con l'osservazione del dato stesso. Si tratta quindi di operatori, strumenti, algoritmi più o meno complessi in grado di mettere a sistema uno o più dati spaziali in input restituendo in output sia dati spaziali sia informazioni di carattere alfanumerico. L'implementazione di questa all'interno dei software GIS ha costituito un punto di svolta nell'analisi ambientale in quanto ha ridotto notevolmente i tempi di produzione/analisi/risultati delle informazioni territoriali, migliorando al contempo le tecniche di acquisizione e di processing. Oggi, grazie anche al costante e continuo progresso tecnologico sia in campo hardware che software, stiamo vivendo una nuova congiuntura critica nel mondo della fotogrammetria e del rilievo territoriale grazie appunto ai sistemi UAV. La possibilità di disporre in tempo reale ed in maniera continua nel tempo di informazioni di estremo dettaglio territoriale a costi molto contenuti, ne aumenta il grado di conoscenza e con esso le tecniche di analisi, diagnosi e controllo ambientale. Anche i software GIS si sono adeguati o si stanno adeguando in tal senso: sono stati infatti implementati vari plugin (es. Drone planner, UAV tracker per QGIS) o estensioni (Drone2Map o las tools per ArcGis) che permettono la lettura e l'elaborazione dei dati di provenienza UAV implementando in tal modo la loro capacità di analisi. Il mondo dei software GIS open source è in continua attività, per cui di software liberi per l'analisi geografica ne esistono molteplici nel web. Secondo quanto stabilito dalla Open Source Initiative (OSI), un software per essere open source deve avere le seguenti caratteristiche:

- Distribuzione libera del software;

- Codice sorgente incluso nel programma o comunque ottenibile a costo zero;

- La licenza deve permettere modifiche e opere derivate (anche se non vi è l'obbligo di rilasciare il prodotto ottenuto con la stessa licenza);

- La licenza non può discriminare né persone o gruppi né porre limitazioni all'uso del programma per un qualsiasi campo di applicazione;

- La licenza non deve modificare altri software distribuiti con esso.

Dal 2007 si è diffuso il termine Free Open Source Software (FOSS) volto ad includere entrambe le visioni ed il lavoro della FSF e della OSI (Frigeri, 2012). La licenza GNU GPL (GNU General Public License) creata dalla Free Software Foundation (FSF – società nata negli anni '80 proprio per la creazione di software libero) viene considerata una delle più restrittive, poiché impone necessariamente che ogni prodotto software derivato venga a sua volta distribuito con la stessa licenza: il software può essere quindi copiato, modificato, usato e ridistribuito a patto di rendere sempre disponibile il codice sorgente e di non modificare l'originaria tipologia di licenza. I software GIS open source più comunemente diffusi tra chi lavora nel settore, QGIS e GvSIG, sono distribuiti con questa licenza. QGIS nasce inizialmente come un semplice visualizzatore di dati geografici, ma nel corso degli anni è stato e continua ad essere implementato con tutta una serie di funzionalità che ne permettono un utilizzo affidabile nei quotidiani usi dei sistemi informativi territoriali. Il software è in grado di supportare una notevole gamma di formati di dati raster e vettoriali e di gestire i servizi standard dell'OGC come i Web Map Service ed i Web Features Service. Possiede validi strumenti per la creazione modifica ed esportazione di dati sia di tipo vettoriale che raster, ed è in grado di supportare semplici analisi spaziali ma anche funzioni abbastanza complesse come la network analysis, la modellazione tridimensionale e la map algebra. Il programma grazie ad un sistema di repository e di plugin (programmati con Python) può essere aggiornato ed integrato con nuove funzionalità in qualsiasi momento attraverso la rete internet, gestiti dal programma attraverso il Plugin Manager. Molto utile risulta essere l'integrazione di QGIS con GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) un potente software GIS open source sviluppato per il processamento e l'analisi di dati di tipo geografico. Dal sito www.qgis.org è possibile scaricare l'ultima versione del software (2.18.4 Las Palmas) rilasciata il 24 Febbraio del 2017 (Fig. 2.3).

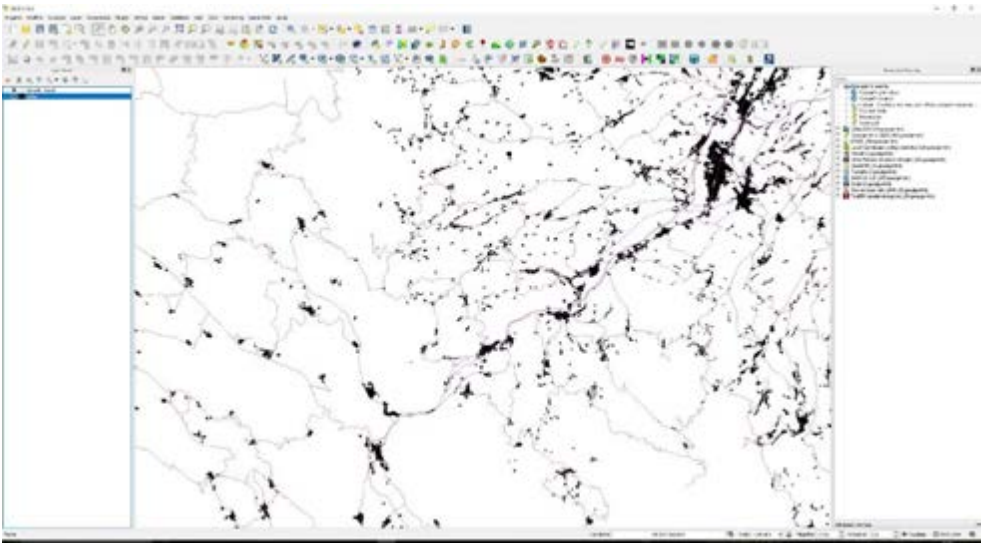


Fig. 2.3 - *Interfaccia del software QGIS versione 2.18 Las Palmas.*

Il software gis GvSig (acronimo di Generalità Valenciana, Sistema di Informazione Geografica) nasce invece nel 2003 da un concorso pubblico, finanziato dall'Unione Europea attraverso il Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR), della Direzione Infrastrutture e Trasporti della Comunità Valenciana che decise di realizzare un proprio sistema informativo territoriale attraverso l'utilizzo di software open source. Sin dall'inizio, GvSig è stato progettato in maniera tale che la sua architettura software si basasse su estensioni in modo da permettere agli utilizzatori e agli sviluppatori di ampliare facilmente le funzionalità dello stesso, sviluppandone anche di nuove a partire dalle librerie utilizzate dal programma. Una estensione importante del programma è SEXTANTE (Sistema EXTremeño di ANalisi TErritoriale), una libreria di geoalgoritmi di analisi spaziale open source. Alcuni strumenti di SEXTANTE includono funzionalità quali: analisi di modelli, analisi idrologica, geostatistica, geomorfometria e analisi del rilievo, analisi e calcolo di layer raster, illuminazione e visibilità, localizzazione ottimale di elementi, logica fuzzy, profili, rasterizzazione e interpolazione, trattamento ed analisi di immagini, indici di vegetazione, indici e altri parametri idrologici. E' stata anche creata una versione Mobile del programma (GvSig Mobile 0.3 Pilot – 23 Aprile 2010) che può essere installata ed utilizzata su tutta una serie di dispositivi portatili. GvSig Mobile è un GIS completo per i dispositivi smartphone con Windows Mobile, ideale per i progetti di acquisizione e modifica dei dati di campo.

Fig. 2.4 - *Interfaccia del software GvSig desktop versione 2.2.*

La facilità nella consultazione, nell'accessibilità e nella condivisione dell'informazione geografica è certamente un parametro fondamentale per chi quotidianamente opera sul territorio. Il mezzo più utilizzato per la diffusione è ovviamente il web. Si parla infatti di webGIS intendendo con questo termine la pubblicazione su web di un sistema informativo geografico. Un progetto webGIS ha tra le sue finalità quelle di comunicazione e condivisione delle informazioni con altri utenti per cui le funzioni che assolve sono diverse rispetto a quelle di un GIS base rivolgendosi di fatto anche ai non esperti in materia. Esso è quindi un GIS che distribuisce dati e informazioni geografiche sulla rete avvalendosi di tecnologie web, garantendo in tal modo la loro visualizzazione, la loro distribuzione e conseguentemente l'analisi. Si tratta anche in questo caso di interazione client-server con restituzione di dati via web. Il client è costituito da un qualsiasi browser per la navigazione in internet (es: Internet explorer, Mozilla firefox, Google Chrome…) mentre il server è organizzato in un web-server (es: Apache, http file server…) e in un software webGIS (UMN Mapserver, GeoServer, Zoo project…) la cui funzione è legata appunto alla visualizzazione ed interpretazione di dati georeferenziati. In buona sostanza un webGIS consente l'interazione attraverso internet con la cartografia e con i dati ad essa associati (Fig. 2.5).

*Fig. 2.5 - Schema di un webGIS (Immagine tratta da http://www.geoportale.org /category/uncategorized)*

Per evitare problemi legati all'interoperabilità dei dati prodotti attraverso software di diversa natura l'Open Geospatial Consortium (OGC) si occupa da diversi anni della definizione di standard per la diffusione di GeoServizi (OpenGIS Web Service - OWS). Gli standard prodotti da tale organismo consentono quindi di scambiare informazioni geografiche prodotte anche con software differenti, in quanto ogni sistema ha conoscenza del formato degli altri programmi, ed inoltre è possibile integrare, tramite la rete, dati locali con dati remoti georeferenziati. Nel tempo sono stati definiti diversi standard quali ad esempio WFS (Web Feature Service) (Vretanos, 2005; Panagiotis P. & Vretanos P.A., 2010), WMS (Web Map Service) (Beaujardiere, 2006), WCS (Web Coverage Service) (Whiteside & Evans, 2008) e altri ancora che possono essere caricati sia attraverso il web (in un sistema webGIS appunto) o anche su un software GIS in grado di supportarli. Lo scambio dei dati si basa sul protocollo HTTP (nella maggioranza dei casi), utilizzando un web service si permette l'interazione tra servizi web e applicazioni mediante l'invio di messaggi in formato XML (eXtensible Markup Language). In sostanza ogni singola richiesta al server viene

elaborata in modo da costruire una nuova pagina HTML visualizzata sul client. La corretta implementazione degli standard OWS permette a qualsiasi client e server di comunicare tra di loro indipendentemente dall'hardware, dal sistema operativo e dal formato originario dei dati. Sostanzialmente una mappa prodotta attraverso un sistema webGIS permette all'utente una serie di operazioni quali:

- Gestione dei vari tematismi di base (ortofoto, mappe topografiche, stradari…) e tematismi specifici (es: uso del suolo, mappe catastali, rete idrografica, strumenti urbanistici…) disponibili sul server e visualizzazione di questi con relative informazioni alfanumeriche collegate;
- Creare ed esportare (stampa) mappe tematiche personalizzate;
- Controllare il livello di zoom e la porzione di territorio visualizzata;
- Misurare distanze e calcolare aree;
- Conoscere la posizione e il significato dei vari oggetti visualizzati;
- Gestire delle interrogazioni (query) sui tematismi presenti (spaziali e alfanumeriche);
- Individuare delle specifiche posizioni sulla mappa sulla base delle coordinate;
- Effettuare il download dei dati disponibili (se possibile);
- Caricare ulteriori dati attraverso l'utilizzo dei protocolli OWS;

Di esempi relativi al mondo dei webGIS ne esistono tantissimi come gli atlanti on-line, gli stradari o altri applicativi web per la localizzazione cartografica. I sistemi informativi territoriali delle Regioni, comuni o di altri enti disponibili sui relativi geoportali rappresentano anch'essi dei webGIS che hanno un ruolo preminente nel rendere accessibile e nel divulgare ai cittadini informazioni di carattere urbanistico, ambientale e territoriale. Tra i servizi offerti c'è anche la possibilità di navigazione su basi cartografiche (es: ortofoto, mappe topografiche) e visualizzazione delle risorse desiderate direttamente via web con livelli di dettaglio territoriale elevato. Esistono anche dei software liberi distinti che gestiscono cartografia attraverso la rete come ad esempio Google Earth, Google Maps, Bing e molti altri che vengono aggiornati costantemente e rappresentano un utile strumento di supporto per attività che fanno parte del vivere quotidiano grazie anche alla loro facilità di utilizzo. Negli ultimi anni sono nati inoltre dei progetti webGIS che consentono all'utente di apportare modifiche/aggiornare i dati geografici e condividere poi con altri utenti le informazioni prodotte. E' il caso di Open Street Map (www.openstreetmap.org) progetto del 2004, che ha letteralmente 'aperto' il mondo della cartografia anche ai meno esperti. Così come riportato nel sito, Open Street Map è *"…una mappa*

*liberamente modificabile dell'intero pianeta. È fatta da persone come te. OpenStreetMap permette a chiunque sulla Terra di visualizzare, modificare ed utilizzare dati geografici con un approccio collaborativo".* Esso rappresenta quindi un progetto collaborativo con il fine ultimo di creare mappe a contenuto libero di tutto il mondo dove chiunque può apportare il proprio contributo sia attraverso rilievi sul territorio tramite tecnologia GPS, sia con l'introduzione di banche dati vettoriali già esistenti o più semplicemente attraverso la digitalizzazione, su basi cartografiche di varia natura, di ulteriori dati legati al territorio (strade, percorsi, edifici, aree naturali, punti di interesse, ecc….).

## 2.3. Gestione ed utilità dell'informazione geografica nella pianificazione territoriale.

Come detto in precedenza, la moderna pianificazione territoriale non può ormai prescindere dall'uso delle tecnologie GIS e UAV. I sistemi informativi territoriali rappresentano ormai una prerogativa fondamentale nel campo ambientale ed uno strumento imprescindibile nelle azioni di pianificazione, controllo e diagnosi territoriale indirizzando di fatto l'azione di governo sulla base delle problematiche emerse (Borri et al., 1998; Geneletti, 2003; Las Casas & Murgante, 2004; Diamantini & Geneletti, 2005; Graci et al., 2008; Murgante, 2008; Zullo, 2016). Dall'altro lato l'utilizzo dei droni in campo ambientale sta rivoluzionando il mondo dei sistemi informativi territoriali grazie alla loro versatilità, alla capacità di acquisizione dati ed alla possibilità di eseguire rilievi in tempo reale (Anuar et alii, 2010; Mangiameli et alii, 2013; Yastikli et alii, 2013; Zullo et al., 2016). La necessità di acquisire informazioni dal territorio nel minor tempo possibile, a costi contenuti, ha finalmente trovato un valido supporto nei sistemi UAV. Questi nuovi sistemi rappresentano la naturale evoluzione dell'aerofotogrammetria (vedi cap.3), con una risposta qualitativa superiore alla topografia classica. Si tratta di un nuovo approccio integrato che rende possibile l'allestimento di scenari di verifica, condurre simulazioni, eseguire confronti, calcolare indici molto complessi, che forniscono al tecnico prima, e al decisore politico-amministrativo poi, informazioni inedite ed affidabili (dipendenti dai dati grezzi a disposizione) circa le realtà territoriali studiate, rendendo molto più oggettivo sia il processo di analisi che quello di decisione. La completa integrazione tra software GIS e sistemi UAV aumentano esponenzialmente le potenzialità di analisi, di diagnosi e controllo ambientale diventando di fatto uno strumento utilissimo nei processi di pianificazione territoriale. In tale prospettiva i SIT potranno svolgere concretamente la loro funzione solo se risultano essere ben organizzati e costantemente aggiornati. E' fondamentale quindi che questi sistemi

siano sempre efficaci ed efficienti. L'efficacia viene garantita attraverso una attenta programmazione del SIT sin dalle sue prime fasi in modo da ottimizzare l'utilizzo delle risorse a disposizione. Ciò vuol dire calibrare la struttura del sistema informativo territoriale in tutte le sue componenti sulla base di quelli che sono gli obiettivi da raggiungere. La corretta programmazione ne garantisce la funzionalità e facilita la gestione del SIT nel tempo. Le continue innovazioni in campo tecnologico come ad esempio sistemi hardware sempre più performanti, processori sempre più potenti in grado di eseguire in tempi ridotti algoritmi complessi su dati di ampie porzioni territoriali, strumentazioni per il rilievo che producono dati ad elevatissime risoluzioni, nuovi algoritmi di analisi spaziale ne garantiscono invece l'elevata efficienza. La possibilità quindi di applicare tecniche di controllo adattivo sia alla scala locale che a quella di progetto diventa così concreta. L'efficacia di azioni di questo tipo è funzione del grado di dettaglio spaziale del dato e della rapidità con cui viene rilevato un determinato fenomeno ed è strettamente legata all'utilizzo di tecnologie UAV in grado di percepire sia l'entità che la portata dei cambiamenti. L'utilizzo di tale sistema comporta quindi un cambio nei tempi e nei modi di gestione delle diverse fasi della pianificazione territoriale. E' oggi infatti possibile parlare di fast planning (vedi cap.1) potendo disporre di informazioni territoriali di estremo dettaglio per l'analisi e dell'elaborazione di diversi scenari evolutivi di piano valutandone al contempo i relativi effetti, con la possibilità di applicare meccanismi adeguati di controllo adattativo per perseguire le linee strategiche prefissate. Come abbiamo visto, siamo quindi ad un importante punto di svolta nella pianificazione determinato dalle continue innovazioni tecnologiche nel campo del rilevamento territoriale e dell'informazione geografica. Tale passaggio non è certo semplice ed immediato e presuppone un coinvolgimento dell'intero spettro delle figure interessate. Un ruolo di primaria importanza in questa chiave è svolto dalle Università che, in qualità di ente di ricerca e formazione, ha l'obiettivo di formare i tecnici sull'utilizzo e sulle potenzialità di questi strumenti. Si tratta di conoscenze e tecniche transdisciplinari che travalicano la classica suddivisione in settori scientifici e che necessitano di docenti di formazione "ibrida" su tali argomenti. I vantaggi offerti da queste nuove tecniche dovranno anche influenzare il pensiero politico affinché sia possibile inserire il loro utilizzo nei vari impalcati normativi non senza un profondo aggiornamento in materia del personale degli uffici tecnici dei vari Enti vista l'importanza del ruolo che rivestono. In questa fase le risorse maggiori andrebbero infatti impiegate nei corsi di formazione del personale in quanto i costi legati alla dotazione tecnologica non sono estremamente elevati. E' possibile infatti ottenere risultati rilevanti anche con una spesa hardware minima in quanto il mercato degli UAV (vedi par.3.2) offre una vasta gamma di prodotti molto potenti e al tempo stesso

economici. E' fondamentale poi che le potenzialità di questi nuovi strumenti e tecniche abbiamo una diffusione anche tra i vari stakeholders e nella componente sociale in maniera tale da aumentare il loro grado di informazione ed indirettamente il loro contributo nella scelte relative agli assetti futuri del territorio. La partecipazione è favorita anche dalla facile accessibilità e dalla condivisione delle basi informative prodotte il che evita anche la duplicazione delle stesse. La divulgazione dell'informazione geografica viene invece garantita attraverso l'adozione di procedure standard e interoperabili per la sua produzione, gestione e rappresentazione. L'implementazione di un SIT con dati di elevato dettaglio nell'ambito della pianificazione territoriale è quanto mai necessaria per una gestione sostenibile delle scelte che ne decideranno i futuri assetti. La nuova Agenda per lo Sviluppo Sostenibile (Agenda 2030) che è stata approvata a settembre 2015 prevede 17 obiettivi da raggiungere entro il 2030. Tra questi c'è anche quello di rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, duraturi e sostenibili (obiettivo n.11). L'obiettivo prevede inoltre l'accesso per tutti ad alloggi adeguati e ad un sistema di trasporto sicuro, la capacità di pianificare e gestire un insediamento umano che sia partecipativo, integrato e sostenibile, di ridurre l'impatto ambientale negativo pro-capite delle città. Inoltre è prevista anche l'adozione di politiche e di piani tesi all'inclusione, all'efficienza delle risorse, alla mitigazione e all'adattamento dei sistemi urbani ai cambiamenti climatici ed alla resistenza ai disastri. Si tratta dunque di una grande sfida per le scienze e l'ingegneria del territorio che solo attraverso il supporto di un sistema informativo territoriale adeguato, dettagliato e costantemente aggiornato avrà la possibilità di avere un quadro chiaro delle diverse realtà territoriali e di operare delle scelte nelle direzioni indicate da Agenda 2030.

La produzione e la consultazione del dato geografico su mappa cartacea è sempre meno diffusa in un mondo in cui l'informatica è in continua evoluzione migliorando e aumentando gli strumenti di conoscenza, di studio e di analisi delle scienze geografiche e cartografiche. Infatti sono numerosi i vantaggi offerti dal GIS nel settore della pianificazione:

- Consultazione di informazioni cartografiche, alfanumeriche e tematiche anche via web (mappe catastali, piani urbanistici a vari livelli e settori, infrastrutture…);
- Interrogazione/selezione di specifiche informazioni del database geografico (Es: produzione diretta di estratti, visure e certificazioni catastali);

- Procedure semplici e complesse di analisi spaziale per lo studio sincronico e diacronico dei vari fenomeni (sociali, economici e naturali) alla scala territoriale;
- Valutazione dei possibili impatti ambientali delle diverse alternative di piano considerate (Procedure di VAS);
- Rappresentazione e produzione di mappe tematiche;
- Facilità di accesso alle informazioni inerenti il piano favorendo in tal modo i processi di partecipazione attiva da parte della componente sociale specie nelle fasi di concertazione e di osservazione;
- Possibilità di disporre di tutte le informazioni relative alla realtà edificatoria esistente e sul suo effettivo utilizzo (progetti di recupero/riqualificazione urbana; controllo della tassazione sugli immobili);
- Gestione degli strumenti urbanistici che regolano gli interventi di modifica del territorio e relative norme ed indici;
- Controllo dell'applicazione degli strumenti urbanistici e aggiornamento delle entità territoriali coinvolte su database di estremo dettaglio (cambiamenti di destinazioni d'uso, abusivismo edilizio…)
- Monitoraggio rapido (fast monitoring) ed in continuo (real time sensing) sullo stato degli interventi urbanistici in atto e su quelli in corso di pianificazione con la possibilità di simulare e verificare preventivamente il loro impatto e la stima dei costi.

Una delle maggiori difficoltà attualmente vissuta pressoché da tutte le regioni italiane e la presenza contemporanea di molti strumenti di pianificazione che tra di loro sono poco coordinati. Una singola regione può avere infatti decine di piani che possono riguardare tematiche diverse, che possono interessare in toto o in parte il territorio regionale o anche disporre di strumenti vigenti su particolari aree a tutela speciale (Siti di Interesse Comunitario o Aree Protette ad esempio). A questo vanno sommati centinaia di piani regolatori a scala comunale. Diverse sono le norme di questi piani come diversi sono gli uffici competenti e le forme di finanziamento dei progetti che ogni piano prevede. I piani, come è noto, hanno una gerarchia funzionale che lavora su scale territoriali diverse oltre che con un diverso grado di cogenza. Presentano inoltre diversi periodi di validità e di azione trasformativa che spesso si sovrappongono tra loro. Una debita conseguenza è spesso la ridondanza delle informazioni che non vengono condivise tra i vari uffici/enti responsabili, una mancanza di un protocollo e di una ontologia standard per la redazione delle stesse e, ancora, problemi di ridondanza di norme molto di frequente poco coordinate tra loro e, in qualche caso, anche di parziale contraddizione. La progettazione mirata a

livello regionale di un Sistema Informativo Territoriale GIS-based può rappresentare una valida soluzione in quanto è in grado di gestire ogni tipo di piano urbanistico e territoriale a qualsiasi scala (da quella regionale a quella comunale). Negli ultimi tempi infatti questi sistemi stanno divenendo dei riferimenti per la costituzione di cataloghi efficienti per l'accesso alle banche dati geografiche necessarie per i processi di governance territoriale. Le normative urbanistiche regionali redatte nel corso degli ultimi 15 anni circa ne evidenziano l'importanza attraverso l'inserimento nell'articolato legislativo anche se con varie modalità e in maniera non uniforme nella penisola. Alcune regioni infatti hanno recepito nel loro ordinamento legislativo la necessità di dotarsi di sistemi informativi territoriali efficienti ad ogni livello amministrativo (Regione, città metropolitana/provincia, comune) mentre altre ancora non riescono a comprendere appieno l'innovazione insita in questi sistemi quali strumenti di indagine e di supporto alle decisioni. E' chiaro che per poter sviluppare al meglio le proprie potenzialità un SIT deve essere costantemente aggiornato ed implementato e disporre di uffici tecnici adeguati in grado di gestirli. E' questa una delle maggiori difficoltà che si riscontra nell'uso di tali tecnologie soprattutto nei comuni a causa anche della sempre maggiore scarsità di risorse sia umane che economiche. L'analisi delle diverse normative regionali in materia di urbanistica fa emergere interessanti spunti di riflessione sull'uso dell'informazione geografica e delle tecnologie ad essa associate nei processi di pianificazione. Alcune regioni come ad esempio l'Emilia Romagna (Capo A - VI Art. A 27 LR 20/2000 e s.m.i.), la Toscana (Articoli 19, 56 LR 65/2014) o la Lombardia (Art.3 LR 12/2005 e s.m.i.) hanno reso cogente per l'approvazione degli strumenti di pianificazione territoriale e di pianificazione urbanistica la consegna del relativo elaborato in formato coerente con le specifiche tecniche del SIT regionale di appartenenza indicando inoltre anche il modello dati, i formati, il sistema di riferimento da adottare e la documentazione tecnica necessaria. In questo modo viene garantita anche l'interoperabilità del dato inerente lo strumento di pianificazione. La già citata normativa Inspire (in particolare le "Technical guidelines" - http:/ /inspire.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/2) ed il regolamento europeo sui metadati forniscono le giuste linee metodologiche a riguardo (Zullo, 2014). Va però sottolineato che solo tre regioni (Umbria e Toscana mentre per le Marche si tratta della DGR 1405 del 14/10/2013) hanno inserito nell'articolato normativo il riferimento alla Direttiva INSPIRE anche con l'obiettivo di partecipare alla realizzazione della Infrastruttura dei Dati Territoriali nazionale ed europea. La condivisione delle banche dati territoriali costituisce senz'altro un elemento chiave per un corretto funzionamento dei SIT in quanto è anche attraverso la condivisione che esso assolve alla funzione di supporto alle decisioni. Ad oggi, la condivisione e l'accessibilità pubblica dei dati geografici costituiscono un settore

cardine ma molto critico in particolare per quanto riguarda l'uso tecnico e professionale degli stessi. La possibilità di accedere e di utilizzare dati territoriali prodotti a vari livelli da parte dei tecnici (valutatori ambientali, pianificatori territoriali, ingegneri…) che operano sul territorio favorisce il corretto svolgimento delle procedure di pianificazione/progettazione/valutazione in ogni fase del processo, potendo disporre di dati sempre aggiornati e nei tempi stabiliti. La pianificazione ed il controllo territoriale, nell'ottica della sostenibilità ambientale, diventano quindi efficaci solo se queste modifiche vengono rilevate in tempo reale in maniera tale da poter disporre di un'adeguata conoscenza territoriale e di meccanismi di feedback efficienti da poter poi adottare.

## 2.4. Valutare, quantificare e programmare le trasformazioni territoriali: un protocollo tecnico per la mosaicatura degli strumenti urbanistici comunali.

Ogni trasformazione sul territorio è regolata da piani. I piani hanno, come noto, un diverso grado di cogenza, possono agire a scale diverse e su ambiti tematici diversi il che ne influenza i contenuti ed il relativo livello di dettaglio. Il territorio è per sua natura un elemento che evolve in tempi rapidi sia per le trasformazioni di origine antropica sia per effetto delle proprie dinamiche naturali. E' chiaro che la scelta delle strategie e delle politiche da attuare risultano efficaci se e solo se si dispone di una conoscenza approfondita delle dinamiche in atto (sia sociali che economiche e territoriali) e di uno strumento in grado sia di metterle a sistema sia di monitorarne e controllarne i risultati in tempo reale. Come abbiamo avuto modo di vedere in più parti del capitolo, un SIT ben strutturato integrato ai sistemi di rilevamento UAV rappresenta uno strumento all'avanguardia ed adeguato ad assolvere funzioni di questa natura. Nel nostro Paese un settore nevralgico per la comprensione delle reali prospettive di trasformazione territoriale è quello della pianificazione comunale. In Italia infatti ci sono attualmente 7998 comuni (censimento Istat aggiornato a Febbraio 2017) la cui dimensione media è pari a circa 37 $km^2$ equivalente a una maglia quadrata di poco superiore ai 6 km di lato (Tab.2.1). Di questi, oltre 500 (pari a circa il 7% del totale) hanno una dimensione territoriale inferiore ai 5 $km^2$ e circa 50 addirittura sotto i 2 $km^2$. A questo si assomma una elevatissima sub-articolazione dei poteri decisionali in materia di trasformazione e crescita urbana che vede proprio nei comuni le principali planning authorities nel calare sul territorio le proprie scelte di politica edilizia. L'elevata articolazione amministrativa non è il solo fattore che ha influenzato lo sviluppo urbano dal dopoguerra ad oggi. E' vero che in tutti i paesi europei sono previste forme di pianificazione "gerarchizzata", che prevedono piani di "scala vasta" per l'individuazione delle risorse e delle criticità e la definizione di

indirizzi e prescrizioni di coordinamento regionale o provinciale e che i piani operativi, generalmente comunali, dovrebbero adeguarsi alle indicazioni provenienti dai livelli superiori. Ma se i piani territoriali sovraordinati sono deboli e con insufficiente forza prescrittiva lasciano molto campo libero alla pianificazione comunale e, in sostanza, l'insieme delle trasformazioni che il territorio subisce nel tempo, derivano dalla sommatoria incontrollata delle modificazioni minute, che ogni comune attua al suo interno.

| | | | Dimensione comuni (kmq) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Regione** | **Superficie regionale (kmq)** | **Numero comuni** | **Minima** | **Media** | **Massima** |
| **Valle d'Aosta** | 3260,85 | 74 | 3,03 | 44,06 | 213,03 |
| **Piemonte** | 25386,69 | 1202 | 0,66 | 21,12 | 203,56 |
| **Lombardia** | 23862,99 | 1528 | 1,06 | 15,62 | 227,29 |
| **Trentino Alto Adige** | 13604,72 | 294 | 1,63 | 46,27 | 302,27 |
| **Friuli Venezia Giulia** | 7862,17 | 216 | 1,58 | 36,4 | 208,35 |
| **Veneto** | 18406,84 | 576 | 2,97 | 31,96 | 415,89 |
| **Liguria** | 5416,08 | 235 | 1,28 | 23,04 | 240,28 |
| **Emilia Romagna** | 22452,09 | 334 | 3,17 | 67,22 | 653,81 |
| **Toscana** | 22986,58 | 279 | 5,85 | 82,34 | 473,54 |
| **Umbria** | 8464,11 | 92 | 10 | 92 | 525,76 |
| **Marche** | 9401,15 | 236 | 3,84 | 39,83 | 272,07 |
| **Lazio** | 17231,78 | 378 | 1,74 | 45,58 | 1287,33 |
| **Abruzzo** | 10831,49 | 305 | 4,36 | 35,51 | 473,9 |
| **Molise** | 4460,43 | 136 | 5,19 | 32,79 | 100,94 |
| **Campania** | 13670,58 | 550 | 0,12 | 24,85 | 186,73 |
| **Puglia** | 19540,48 | 258 | 3,17 | 75,73 | 593,91 |
| **Basilicata** | 10073,11 | 131 | 12,47 | 76,89 | 392,08 |
| **Calabria** | 15221,61 | 409 | 2,33 | 37,21 | 282,52 |
| **Sicilia** | 25831,99 | 390 | 1,16 | 66,23 | 554,98 |
| **Sardegna** | 24099,67 | 377 | 2,47 | 63,92 | 547,03 |
| **ITALIA** | **302065,41** | **8000** | **0,12** | **37,76** | **1287,33** |

Tab. 2.1 - *Dimensioni minime, medie e massime dei comuni nelle regioni italiane.*

Nel condurre la propria pianificazione territoriale infatti ogni comune è sostanzialmente autonomo e solo raramente si registrano spontanee aggregazioni intercomunali per elaborare piani di maggior respiro strategico. Questa serie di fattori ha comportato negli anni nel nostro Paese una forte dispersione urbana sganciata quasi totalmente da ogni forma di pianificazione/progettazione, legata per lo più al disegno della proprietà fondiaria che ha generato e genera una serie di problemi notevoli nell'ordinaria gestione urbana (costi energetici altissimi sia nel pubblico che nel privato, impegni tecnico-economici-organizzativi estremamente gravosi nella erogazione dei servizi di qualsiasi tipo, conseguenze drastiche verso la qualità dei paesaggi e degli ecosistemi che risultano essere alterati, disturbati,

frammentati ed erosi in ogni loro sezione anche remota) unitamente ad una spropositata conversione urbana dei suoli. Questa diffusione minuta dell'insediamento sul territorio è stata definita sprinkling (Romano e Zullo, 2015, Romano *et alii*, 2016a,b; Romano *et alii*, 2017) per differenziarla appunto dallo sprawl che presenta parametri urbanistici totalmente diversi. La configurazione di dispersione estrema dello sprinkling presenta aggregati dimensionalmente molto variabili (dal singolo edificio alla piccola conurbazione) distribuiti nella matrice agricola, con alta commistione funzionale di residenza, industriale/artigianale, direzionale e commerciale/terziario di vario tipo. Senza entrare nel merito della questione si vuole qui sottolineare che oggi questo assetto territoriale rappresenta una grossa sfida per l'urbanistica e le scienze del territorio che deve essere affrontata con tecniche, tempi e velocità diverse rispetto al passato per rispondere in maniera adeguata e con le adeguate misure alle diverse problematiche che via via emergono. La diffusione dell'uso tra gli addetti ai lavori di questi strumenti innovativi (GIS e UAV) unitamente all'adeguamento delle tecniche di pianificazione e di monitoraggio al concetto di fast, rappresenta oggi la chiave fondamentale di lettura del territorio ai fini di una gestione sostenibile delle scelte trasformative. Come precedentemente espresso, in Italia gli strumenti urbanistici comunali e i loro aggiornamenti rappresentano gli strumenti a più elevata capacità decisionale per le trasformazioni territoriali, per cui un settore chiave nella gestione e nel controllo delle trasformazioni antropiche è costituito dalla loro mosaicatura e il conseguente monitoraggio. La mosaicatura delle previsioni insediative degli strumenti urbanistici comunali è una procedura di elaborazione ed uniformazione degli strumenti urbanistici vigenti relativi al territorio di una data regione. E' una procedura piuttosto complessa nella sua fase tecnica a causa della inadeguatezza tecnologica di questo livello di pianificazione che comporta il ricorso a strumenti di varia natura (procedure tecniche GIS, software…) per l'omologazione finale. Si tratta quindi di superare, attraverso la costituzione di un opportuno SIT, problemi sia di natura ontologica sia tecnica. Il SIT diventa così il sistema di raccordo regionale che consente il dialogo sincronico tra gli strumenti di pianificazione e programmazione vigenti, a qualsiasi livello di operatività e a qualsiasi settore amministrativo essi appartengano. Un'altra problematica di rilevante importanza è la mancanza di uno standard informatico di riferimento per l'uniformità degli strumenti stessi oltre che il difficile reperimento del materiale sia perché non sempre disponibili sui geoportali sia perché solo in alcuni casi vengono rilasciati in un formato gestibile attraverso un software GIS. Non solo, anche l'assenza di un protocollo standard per l'elaborazione cartografica e l'attribuzione territoriale di zona, costituisce di fatto una carenza che può generare diversi problemi. In tal senso, un passaggio essenziale è rappresentato dalla

redazione di una legenda standardizzata dei vari strumenti urbanistici comunali che tiene conto delle diverse situazioni urbane che nel nostro Paese variano da regione a regione. I contenuti operativi del piano, come noto, sono espressi mediante uno zoning, che attribuisce alle diverse parti territoriali le possibilità di trasformazione previste (residenziale, produttiva, servizi, attrezzature generali, agricola,…) e le Norme Tecniche di Attuazione (o NTA) che specificano modalità e dimensioni di azione all'interno delle zone. Problemi molto importanti di interpretazione dei contenuti dei piani regolatori sono legati alla mancanza di omologazione nelle denominazioni delle zone in relazione ai loro significati e alla complessità espressiva delle norme che rende spesso difficile capire quali siano le reali possibilità trasformative. Si rilevano spesso delle incongruenze tra la denominazione di zona e le attività che poi vengono effettivamente consentite. In uno studio condotto per la mosaicatura dei piani per i 92 comuni della Regione Umbra è emerso chiaramente quanto descritto. L'analisi delle NTA dei vari piani ha mostrato alcuni casi emblematici come quello di seguito riportato relativo ad un Piano Strutturale Comunale del 2002. Il Piano prevede una legenda per lo spazio rurale ed una per lo spazio urbano insieme ad una parte denominata "Componenti sistemiche" dove vengono riportate indicazioni circa il sistema della mobilità (strade, ferrovie, parcheggi), il sistema del verde e dei servizi pubblici (istruzione, sanità, attrezzature di ordine pubblico…) insieme agli impianti ed alle infrastrutture tecnologiche. Nelle voci utilizzate in legenda per descrivere lo zoning di piano, tra gli elementi di qualità ambientale e culturale viene utilizzata la dicitura "*Verde di caratterizzazione ambientale, ecologico-paesaggistico dell'insediamento*". In una parte delle NTA del Piano Strutturale queste zone vengono assimilate alle zone E (agricole). In un altro capitolo delle stesse NTA la loro disciplina prevede:

"*Nel Verde di caratterizzazione ambientale, ecologico-paesaggistica dell'insediamento non coperto da bosco sono consentite oltre le coltivazioni agricole, gli usi del suolo ad orto urbano ed a giardino con la possibilità di realizzare, in appezzamenti non inferiori a m$^2$ 500, un manufatto a carattere precario in legno per il ricovero degli attrezzi agricoli con la dimensione max di m$^2$ 6,00 ed altezza alla gronda di m 2,00. Per i manufatti esistenti sono ammessi interventi con destinazione d'uso esclusivamente residenziale subordinati al mantenimento della funzione paesaggistico-ambientale delle aree di pertinenze. Le aree ricadenti nel Verde di caratterizzazione ambientale, ecologico-paesaggistica dell'insediamento possono essere destinate ad opere di urbanizzazione primaria e secondaria relative ad Ambiti ad attuazione indiretta adiacenti; in tal caso sono cedute gratuitamente al Comune". Alcuni degli interventi previsti sono di ristrutturazione edilizia con aumento di*

*superficie riferito ad una legge regionale che prevede "…per gli edifici già esistenti alla data del 13 novembre 1997, ampliamenti per un incremento massimo di cento metri quadri di superficie utile coperta, purché la superficie utile coperta complessiva del singolo edificio oggetto di intervento, comprensivo dell'ampliamento, non risulti superiore a quattrocentocinquanta metri quadri. In caso di ampliamento, l'altezza massima della parte ampliata può eccedere il limite di metri lineari sei e cinquanta, sino al raggiungimento dell'altezza massima dell'edificio esistente*".

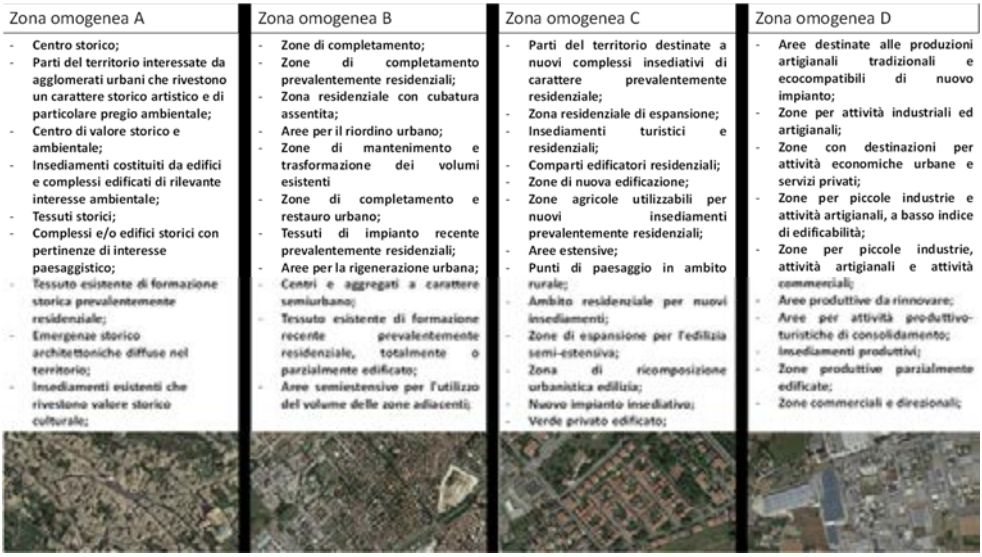
Si può constatare una evidente incongruenza tra la denominazione di zona, legata ai valori ambientali ed ecologico-paesaggistici e le attività che vengono poi effettivamente consentite, di stampo sostanzialmente edilizio e urbanistico relativo ad ogni tipo di espansione. Si tratta di un problema riscontrabile in molti piani comunali che tendono oggettivamente a criptare le previsioni di espansione edilizia per evitare o minimizzare le forti opposizioni derivanti dalla acquisizione di elevati valori immobiliari che queste aree conseguono una volta individuate come trasformabili. Da un lato si assiste a dichiarazioni di intenti delle amministrazioni rivolte al miglioramento delle qualità ambientali dei territori, mentre d'altra parte le amministrazioni stesse sono soggette a forti pressioni imprenditoriali per garantire aree di incremento edilizio. Si tratta di un fenomeno ormai storico in Italia che, anche nell'attuale momento di crisi del settore delle costruzioni, sembra ancora affermarsi e condizionare le politiche locali. L'aumento della complessità delle norme ha certamente influito nell'inserimento delle previsioni di crescita urbana all'interno di voci sinottiche fuorvianti e più accattivanti per la attuale sensibilità ambientale sociale. Appunto per questo è necessario realizzare una legenda unificata almeno a livello regionale alla quale poi i comuni devono attenersi per la redazione dei propri piani. In linea generale la legenda unificata deve individuare una griglia unica il cui fine è quello di uniformare le descrizioni sinottiche della pianificazione locale favorendo poi l'inserimento di questi dati all'interno del SIT della regione di appartenenza. La struttura di questa legenda deve essere necessariamente rigida per evitare le situazioni come quella precedentemente elencata. Partendo dalla nomenclatura delle tipologie zonali ripresa dal D.M. 1444 del 1968 si tratterebbe quindi di realizzare una griglia illustrativa dove andranno meglio specificate le varie classi di intervento da associare a ciascuna delle zone omogenee principali individuate dal decreto. Le definizioni di queste zone territoriali omogenee, riprese dal su citato Decreto Ministeriale, sono:

- Zona "A" - le parti del territorio interessate da agglomerati urbani che rivestono carattere storico, artistico o di particolare pregio ambientale o da

porzioni di essi, comprese le aree circostanti, che possono considerarsi parte integrante, per tali caratteristiche, degli agglomerati stessi;

- Zona “B” - le parti del territorio totalmente o parzialmente edificate, diverse dalle zone “A”, dove si considerano parzialmente edificate le zone in cui la superficie coperta degli edifici esistenti non sia inferiore al 12,5% (un ottavo) della superficie fondiaria della zona e nelle quali la densità territoriale sia superiore ad 1,5 mc/mq;
- Zona “C” - le parti del territorio destinate a nuovi complessi insediativi, che risultino inedificate o nelle quali la edificazione preesistente non raggiunga i limiti di superficie e densità di cui alla precedente lettera “B”;
- Zona “D” - le parti del territorio destinate a nuovi insediamenti per impianti industriali o ad essi assimilati;
- Zona “E” - le parti del territorio destinate ad usi agricoli, escluse quelle in cui - fermo restando il carattere agricolo delle stesse - il frazionamento delle proprietà richieda insediamenti da considerare come zone “C”;
- Zona “F” - le parti del territorio destinate ad attrezzature ed impianti di interesse generale.

A queste zone omogenee possono esserne aggiunte altre per differenziare ulteriormente le tipologie insediative (come ad esempio gli insediamenti e le attrezzature turistiche o le aree di salvaguardia ambientale) e di servizi territoriali (standard urbanistici e servizi generali). E’ possibile anche pensare ad un ulteriore sottodivisione delle zone omogenee in funzione della tipologia di intervento (per esempio nella zona D differenziazione relativa a aree estrattive, centri commerciali, aree industriali o categorie miste) e della localizzazione territoriale (centro urbano, frazione o disperso nel territorio) attraverso l’utilizzo di codici numerici da associare alla zona omogenea. Le sottodivisioni andranno dettagliatamente descritte. La semplificazione delle voci sinottiche non deve naturalmente comportare una perdita di informazioni utili, pertanto un approccio expert-based sulle varie legende che hanno caratterizzato i piani comunali (per ciascuna regione) di ultima generazione con annessa interpretazione dei dettami delle NTA, può rappresentare una buona base di partenza. Ciò permette anche di individuare particolari tipologie urbanistiche più o meno diffuse sul territorio che possono comportare poi delle modifiche nella legenda unificata.



| Zona omogenea A | Zona omogenea B | Zona omogenea C | Zona omogenea D |
|---|---|---|---|
| - Centro storico;<br>- Parti del territorio interessate da agglomerati urbani che rivestono un carattere storico artistico e di particolare pregio ambientale;<br>- Centro di valore storico e ambientale;<br>- Insediamenti costituiti da edifici e complessi edificati di rilevante interesse ambientale;<br>- Tessuti storici;<br>- Complessi e/o edifici storici con pertinenze di interesse paesaggistico;<br>- Tessuto esistente di formazione storica prevalentemente residenziale;<br>- Emergenze storico architettoniche diffuse nel territorio;<br>- Insediamenti esistenti che rivestono valore storico culturale; | - Zone di completamento;<br>- Zone di completamento prevalentemente residenziali;<br>- Zona residenziale con cubatura assentita;<br>- Aree per il riordino urbano;<br>- Zone di mantenimento e trasformazione dei volumi esistenti<br>- Zone di completamento e restauro urbano;<br>- Tessuti di impianto recente prevalentemente residenziali;<br>- Aree per la rigenerazione urbana;<br>- Centri e aggregati a carattere semiurbano;<br>- Tessuto esistente di formazione recente prevalentemente residenziale, totalmente o parzialmente edificato;<br>- Aree semiestensive per l'utilizzo del volume delle zone adiacenti; | - Parti del territorio destinate a nuovi complessi insediativi di carattere prevalentemente residenziale;<br>- Zona residenziale di espansione;<br>- Insediamenti turistici e residenziali;<br>- Comparti edificatori residenziali;<br>- Zone di nuova edificazione;<br>- Zone agricole utilizzabili per nuovi insediamenti prevalentemente residenziali;<br>- Aree estensive;<br>- Punti di paesaggio in ambito rurale;<br>- Ambito residenziale per nuovi insediamenti;<br>- Zone di espansione per l'edilizia semi-estensiva;<br>- Zona di ricomposizione urbanistica edilizia;<br>- Nuovo impianto insediativo;<br>- Verde privato edificato; | - Aree destinate alle produzioni artigianali tradizionali e ecocompatibili di nuovo impianto;<br>- Zone per attività industriali ed artigianali;<br>- Zone con destinazioni per attività economiche urbane e servizi privati;<br>- Zone per piccole industrie e attività artigianali, a basso indice di edificabilità;<br>- Zone per piccole industrie, attività artigianali e attività commerciali;<br>- Aree produttive da rinnovare;<br>- Aree per attività produttivo-turistiche di consolidamento;<br>- Insediamenti produttivi;<br>- Zone produttive parzialmente edificate;<br>- Zone commerciali e direzionali; |

Fig. 2.6 - *Alcune descrizioni sinottiche utilizzate nelle cartografie dello zoning di piano nei comuni della regione Umbria.*

La figura in alto mostra alcune delle descrizioni sinottiche utilizzate per la cartografia dello zoning di piano per i territori dei comuni della regione Umbria. Come già indicato in precedenza, l'associazione ad una o ad un'altra zona omogenea comporta una attenta lettura delle NTA del piano stesso in quanto è solo attraverso queste che si riesce ad associare ad ognuna di esse l'effettiva zona omogenea di appartenenza. La realizzazione di una legenda unificata a livello regionale con le zone omogenee *sensu* D.M.1444/1968 e relativa sub-articolazione, avrebbe di sicuro dei vantaggi indiscussi su ampia scala e su vari livelli. Innanzitutto vengono meno le difficoltà di interpretazione delle varie descrizioni sinottiche utilizzate con conseguente aumento della leggibilità delle mappe zonali, il che ne agevola la comprensione e ne facilita le successive analisi oltre a favorire la partecipazione della componente sociale nei processi di piano. Il quadro delle trasformazioni che ogni comune intende programmare all'interno del proprio territorio diventa così molto più diretto e trasparente, con una impossibilità oggettiva di criptare le previsioni di espansione edilizia che spesso condizionano le politiche locali. Non solo, sicuri vantaggi si avrebbero anche nell'ambito delle politiche strategiche regionali con la possibilità di modulare al meglio le linee di indirizzo e di sviluppo nei vari ambiti e nei diversi piani. Da un punto di vista tecnico la complessità di una operazione di mosaicatura dei PRG comunali deriva dal fatto che questi sono stati disegnati nel tempo con strumenti software di natura diversa, privi spesso dei necessari metadati e di

georeferenziazioni corrette o comunque non direttamente leggibili. Va detto che la carenza cronica di geoportali a livello comunale limita anche l'accessibilità e l'uso stesso della risorsa. Per cercare di comprendere meglio quali sono i problemi che ognuno di questi parametri (uso del software, georeferenziazione, metadati) comporta, verranno analizzati distintamente di seguito. L'informazione geografica numerica è stata sviluppata negli anni con diverse tipologie di software e di formati digitali che spesso non potevano, e in alcuni casi ancora non possono, essere gestiti da software diversi da quelli che li hanno originati. L'interoperabilità dei dati geografici, intesa come la capacità di utilizzare informazioni indipendentemente dal linguaggio e dall'architettura di programmazione usati, costituisce una prerogativa fondamentale nell'utilizzo e nella diffusione dei dati di questa natura, evitando al contempo anche problemi legati alla ridondanza di informazioni. Sono diverse le tipologie di file, sia raster sia vettoriali o formati tipo documento, con i quali sono stati e vengono oggi diffusi gli strumenti urbanistici comunali il che comporta vari problemi all'atto pratico della loro omologazione e conseguente mosaicatura. Tipologie diverse di file comportano l'uso di tecniche diverse e l'utilizzo spesso di diversi software. Molto comunemente gli elaborati cartografici di zoning degli strumenti urbanistici comunali vengono rilasciati in formato PDF (Portable Document File che possono essere poi facilmente convertiti in raster), in formato DWG (drawing) e DXF (Drawing eXchange Format) o anche in un comune formato raster (.jpeg, .tif ad esempio). Ciò richiede il ricorso a fasi di pre-processing informaticamente lunghe e laboriose al fine di ottenere i necessari formati compatibili con le procedure di elaborazione dati in ambiente GIS (ad esempio un comune shapefile). File di derivazione CAD richiedono tecniche diverse rispetto a quelle utilizzate per i files PDF o raster in quanto l'informazione in un sistema di tipo CAD è contenuta in diversi strati (layer) sovrapposti ognuno dei quali si riferisce ad un particolare ambito tematico. Quando viene aperto con un programma GIS (Qgis ad esempio apre i file .dxf) il software lo suddivide per tipologia geometrica (punti, linee e poligoni) ciascuno dei quali ha una tabella associata con una serie di attributi alfanumerici. Un sistema informativo di disegni, qual è il CAD, non possiede una struttura topologica del dato e molto spesso, in fase di realizzazione del file, poligoni contigui aventi uno o più lati in comune non vengono tra loro ancorati provocando una serie di errori di vuoti e sovrapposizioni. L'eliminazione di errori di questa natura comporta un dispendio considerevole in termini di tempo e di risorse. Il numero di questi errori dipende naturalmente dall'estensione territoriale a cui il dato è riferito oltre che dalle conoscenze e capacità tecniche dell'operatore incaricato di digitalizzare l'informazione geografica. Per avere un'idea dell'ordine di grandezza di tale operazione basti pensare che per il piano di uno dei comuni dell'Umbria, la cui

dimensione territoriale supera di poco i 250 kmq, sono stati corretti oltre 1200 errori di questa natura che hanno richiesto diverse giornate di lavoro. Molto spesso i piani diffusi in formato immagine debbono essere georeferenziati prima di poter procedere con l'acquisizione vettoriali delle indicazioni di zona. Il grado di accuratezza della digitalizzazione dipende fortemente dalla risoluzione geometrica (dimensione del pixel che costituisce l'immagine) del raster di partenza e dalla scala nominale scelta per l'acquisizione. Questa operazione di per sé è abbastanza semplice ma presuppone la conoscenza approfondita nell'uso degli strumenti GIS di editing. In linea generale, ogni zona o sottozona deve essere individuata da una poligonale chiusa ed i perimetri di zone poligonali adiacenti non devono avere zone di sovrapposizione o dei vuoti. Accorgimenti di questa natura tecnica incidono fortemente sulla qualità finale del dato geografico prodotto e che quindi deve essere adeguata e funzionale all'uso che di questo bisogna farne. La qualità del dato rappresenta una caratteristica molto importante che influisce poi direttamente sul suo utilizzo. Esistono anche in questo settore una serie di protocolli standard (serie ISO 19xxx redatta dalla ISO/TC 211 a livello europeo http://www.isotc211.org/) che indicano anche le regole da seguire per la determinazione di una serie di parametri ad essa direttamente collegati. La posizione, l'ambito tematico (descrizione in attributi alfanumerici) e l'attributo temporale rappresentano una prerogativa qualitativamente importante nel momento in cui il piano viene integrato nel SIT. L'accuratezza, che rappresenta il grado di corrispondenza tra il dato geografico e la realtà, viene quindi analizzata negli aspetti temporali, tematici e geografici (posizione). L'accuratezza posizionale esprime la differenza tra la posizione reale di un'entità territoriale ed il suo omologo rappresentato nel database geografico. L'accuratezza tematica si riferisce invece alla precisione degli attributi quantitativi e qualitativi dell'oggetto geografico e le loro relazioni e classificazioni rispetto ai suoi parametri reali. La frequenza di aggiornamento del database influisce sull'accuratezza temporale, che indica appunto la differenza tra le variazioni temporali del dato reale e quelle del dato registrato nel database. Risultano importanti ai fini della qualità di un dato anche i parametri relativi alla completezza e alla consistenza logica. La completezza indica infatti il grado di conformità comparato con la sua fonte in termini di numerosità di oggetti, attributi e relazioni. Viene espressa in termini assoluti o in percentuale e indica se tutte le entità presenti alla fonte sono state acquisite nel modello di dati. Misura quindi possibili errori di difetto o di ridondanza di informazioni associate al numero degli oggetti, degli attributi e delle relazioni. La consistenza logica esprime invece la conformità del dato digitale con quello della fonte; questo parametro riguarda quindi gli aspetti topologici, la struttura del modello fisico dei dati ed il dominio dei dati inteso

quest'ultimo come campo di validità del dato stesso. La consistenza logica deve essere assicurata affinché il dato possa confluire in una banca dati geografica, ed appunto per questo ci sono delle procedure che vengono eseguite in automatico atte a verificarla.

Fig. 2.7 - *Digitalizzazione dello zoning di piano da file raster.*

Nel processo di mosaicatura degli strumenti urbanistici comunali la conoscenza delle tecniche di georeferenziazione di un dato, indipendentemente dal formato di file di partenza, riveste un ruolo di primaria importanza sull'intero processo ed influenza direttamente il grado di accuratezza posizionale. Georeferenziare vuol dire posizionare correttamente nello spazio le varie entità territoriali rispetto ad un opportuno sistema di riferimento. Un sistema di riferimento o datum è appunto un sistema di riferimento che permette di esprimere in termini matematici la posizione di punti della superficie fisica della Terra (Smith 1997, Mattiozzi et alii, 2013). In altre parole è un sistema di riferimento che permette di georeferenziare punti ed oggetti mediante l'utilizzo di opportune coordinate. Nel nostro Paese sono stati utilizzati nel tempo vari datum (Roma 40, ED50, WGS84 e ERTF89) e sistemi di proiezione (Cassini-Soldner, Gauss-Boaga, Universal Transversal Mercatore) con i quali poi sono stati

georeferenziati i piani e tutti i dati geografici del territorio nazionale. Il decreto ministeriale del 10 novembre 2011 del Ministro per la pubblica amministrazione e l'innovazione, di concerto con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare (pubblicati sulla Gazzetta Ufficiale n. 48 del 27 febbraio 2012 - Supplemento ordinario n. 37) all'art. 2 ha stabilito che il nuovo sistema di riferimento geodetico nazionale adottato dalle amministrazioni italiane è costituito dalla realizzazione dell'ETRF 2000 (anno di riferimento 2008), del sistema di riferimento geodetico europeo ETRS89, ottenuta nell'anno 2009 dall'Istituto Geografico Militare, mediante l'individuazione delle stazioni permanenti, l'acquisizione dei dati ed il calcolo della Rete Dinamica Nazionale. Per cui tutti i dati geografici esistenti e quelli creati ex novo andranno uniformati a tale sistema di riferimento. E' possibile utilizzare anche un servizio online per la conversione delle coordinate messo a disposizione in forma gratuita dall'Istituto Geografico Militare e raggiungibile al sito del geoportale nazionale (http://www.pcn.minambiente.it/GN/conversione-di-coordinate). Tale servizio garantisce un'accuratezza posizionale maggiore in quanto utilizza i grigliati (griglie georeferenziate a passo regolare uniformemente distribuite sul territorio utilizzate per il passaggio tra i sistemi geodetici più diffusi in Italia) messi a disposizione dallo stesso Istituto per cui è preferibile utilizzarlo avendo però conoscenza del sistema di coordinate di partenza del file. Tutti i software GIS possiedono sia degli algoritmi che permettono passaggi di conversione e di trasformazione tra sistemi sia dei moduli interni al programma o delle toolbar che effettuano georeferenziare di file utilizzando i Ground Control Point o GCP. I GCP sono dei punti di riferimento di sicura localizzazione al suolo che possono poi essere localizzati sull'immagine digitale. Possono essere ad esempio punti di coordinate note (ad esempio i vertici di una normale cartografia IGM), intersezioni di assi stradali, limiti di particelle di terreno, spigoli dei tetti degli edifici. L'individuazione di punti omologhi da utilizzare come GCP nelle operazioni di georiferimento deve avvenire utilizzando delle basi cartografiche già georeferenziate come ad esempio ortofoto/carta tecnica regionale residenti o caricate tramite servizio WMS o lo stesso google earth settato in maniera opportuna (coordinate planimetriche). Utilizzando i rilevi UAV è possibile inserire dei segnalatori a terra (con funzione di GCP) nell'area da rilevare che siano poi facilmente riconoscibili anche nelle foto rilevando al contempo, con strumentazione GPS di precisione, le relative coordinate. Ciò aumenta notevolmente l'accuratezza posizionale del rilievo effettuato. L'operazione di georeferenziazione è tecnicamente abbastanza semplice ma presuppone un elevato livello di conoscenze cartografiche e topografiche ai fini di una sua corretta applicazione. Molto spesso infatti non derivando da software di natura geografica ed essendo privi dei necessari metadati, non è semplice distinguere quale sia il sistema

di riferimento utilizzato per una certa risorsa geografica. Mentre è facile riconoscere un sistema di riferimento come il Roma 40 – Gauss Boaga (fuso 1 e fuso 2) o anche un Cassini Soldner grazie alla specificità delle coordinate utilizzate, è molto difficile distinguere, qualora questo non sia espressamente dichiarato, tra un datum ED50, WGS84 o ETRS89 di una risorsa geografica in quanto le differenze tra questi sistemi sono difficili da apprezzare anche da esperti in materia. La scelta quindi del sistema di riferimento da adottare nella mosaicatura dei piani è un passaggio cruciale in quanto poi la successiva georeferenziazione dei vari strumenti è funzione di questa. In ogni caso è conveniente scegliere il sistema di riferimento adottato dalla regione di appartenenza dei comuni indagati o anche quello adottato a livello nazionale. E' utile ricordare che ogni operazione di cambio di datum e di sistema di proiezione produce sul file in output un errore di posizionamento che è funzione sia dell'algoritmo utilizzato a tale scopo sia anche della precisione adottata nella scelta dei GCP. Ancora una volta si ricorda che, laddove possibile, conviene utilizzare i grigliati dell'Istituto Geografico Militare in modo da effettuare questa operazione con la massima accuratezza posizionale possibile. L'operazione di georeferenziazione può essere diversa a seconda della tipologia di file con il quale è stato prodotto è distribuito il piano. I piani in formato raster spesso sono privi del necessario file di georeferenziazione per cui la normale procedura prevede l'utilizzo di una serie di GCP (numero variabile in funzione dell'estensione territoriale del comune, del numero di tavole e del tipo di trasformazione che si intende adottare) estratti da basi cartografiche già georeferenziate (Fig.2.8). Diverso è il discorso se questi dispongono già di un file di georeferenziazione (ad esempio il world file) o se sono in un formato raster (file .ecw o .geotif) nel cui header è contenuto il necessario per il corretto posizionamento dello stesso rispetto ad uno specifico sistema di riferimento. In questo caso va solo constatata la congruenza con il sistema di riferimento adottato ed effettuare in caso le dovute operazioni di conversione (passaggio tra diversi sistemi di proiezione) e/o trasformazione (passaggio di datum) utilizzando i relativi algoritmi. Per i dati CAD (.dxf, .dwg, .dgn) la georeferenziazione avviene attraverso una trasformazione di tipo similare con al massimo due punti di controllo al fine di mantenere i rapporti geometrici tra gli elementi ed evitare la rotazione degli assi, in pratica vengono minimizzate le distorsioni di tipo geometrico (Fantozzi 2013; Zullo 2016). Spesso, essendo i file CAD dei piani disegnati su base catastale il cui sistema di riferimento è di norma il Cassini-Soldner, per le operazioni di trasformazione e conversione di singole coppie di coordinate è possibile utilizzare anche software quali Cartlab, Traspunto, VertoGis, ConveRgo o altri ancora.

Fig. 2.8 - *Cartografia dello zoning di piano di un comune georeferenziata e caricata su Google Earth.*

Se si dispone di piani già su formato vettoriale GIS (solitamente lo shapefile), va verificata la congruenza con il sistema di riferimento adottato e, in caso contrario, effettuare le giuste operazioni di conversione e/o trasformazione. In ogni caso la scelta delle procedure da effettuare non è funzione solo del formato del file ma anche del sistema di riferimento di partenza. Quest'ultima informazione, insieme ad una serie di altre ugualmente importanti, sono contenute nel file di metadati che, come indicato, influenzano l'accuratezza tematica del dato geografico prodotto. I metadati sono delle informazioni che accompagnano il dato geografico descrivendone il contenuto, la qualità, le condizioni di utilizzo ed altri parametri che garantiscono il corretto utilizzo oltre che del dato stesso, anche dei sistemi informativi geografici e delle infrastrutture di dati spaziali. La già citata normativa INSPIRE li definisce all'art.3 come "*le informazioni che descrivono i set di dati territoriali e i servizi relativi ai dati territoriali e che consentono di ricercare, repertoriare e utilizzare tali dati e servizi*". Sono quindi delle informazioni aggiuntive che permettono di interpretare e di utilizzare poi queste risorse nelle varie analisi; essi rivestono quindi un ruolo fondamentale nell'ambito dei processi decisionali che riguardano il governo del territorio. Inoltre aumentano il livello di condivisione tra gli enti, riducono i costi dovuti alla duplicazione dei processi di acquisizione ed inoltre rendono possibile l'integrazione tra i vari sistemi. Come per i dati geografici anche per i metadati sono stati elaborati degli standard in modo da garantire che queste informazioni siano espresse in una certa forma e siano comprensibili oltre che

interoperabili. L'assenza di queste informazioni non garantisce quindi la corretta utilizzabilità della risorsa. Molto spesso per identificare le varie zone omogenee nella cartografia di piano (sia nelle versioni cartacee sia in quelle vettoriali come attributo nel database) vengono utilizzate delle sigle o dei codici che non possono essere decriptati senza i necessari metadati (in questo senso funzionano anche le NTA). Inoltre, come già ribadito, l'esplicitazione del sistema di riferimento utilizzato per quella determinata risorsa, permette tutte le operazioni legate al georiferimento di cui si è parlato in precedenza. Il processo di omologazione e di mosaicatura degli strumenti urbanistici comunali di una data regione non è quindi una operazione semplice e rapida ma necessita di consistenti risorse sia strumentali che economiche ed umane in funzione dell'estensione territoriale della regione stessa e del numero dei comuni ad essa appartenenti. Si tratta di una procedura che va progettata nei minimi dettagli già dalle sue prime fasi in maniera da valutare ogni singolo parametro, ogni singola procedura tecnica con l'obiettivo di massimizzare le potenzialità informative e l'efficacia di utilizzo, e ridurre al minimo il margine di errore. In tal senso la scelta dei campi da inserire nel database finale dello strato della mosaicatura complessiva ha un ruolo chiave sull'utilizzo futuro del file e sulle sue potenzialità informative. L'analisi condotta per la regione Umbria ha visto l'inserimento delle seguenti informazioni:

- Indicazione della zona omogenea di appartenenza in funzione di quelle indicate nella nomenclatura zonale standard;
- Indicazione dell'originaria descrizione di zona;
- Tipologia di insediamento: residenziale/produttivo/turistico/servizi (anche suddivisi per tipologia)/attrezzature (residenziali/turistiche);
- Indicazione del comune di riferimento;
- Anno di aggiornamento dello strumento;
- Tipologia dello strumento specificando anche se si tratta di varianti (Piano strutturale/operativo, programma di fabbricazione);
- Valori degli indici urbanistici di zona.

Questo set di informazioni può essere ritenuto quale requisito minimo per la mosaicatura degli strumenti urbanistici comunali (Fig.2.9). Attraverso l'analisi dei dati delle cartografie tecniche di dettaglio (1:10.000 1:5.000) aggiornate è possibile implementare il database finale anche con altre tipologie di informazioni molto importanti.

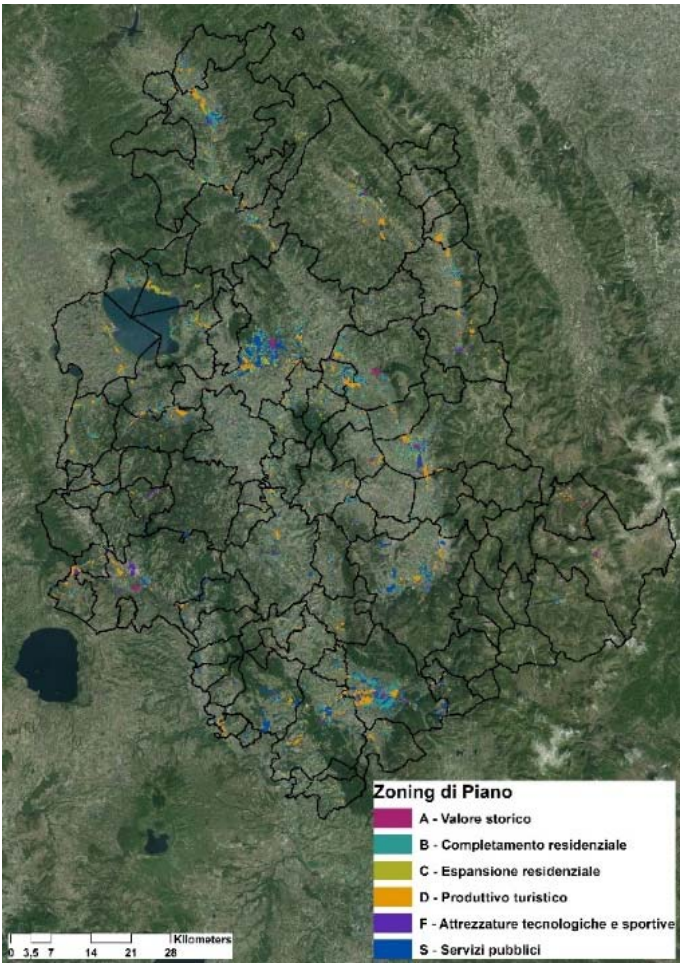



Fig. 2.9 - *Mosaicatura degli strumenti urbanistici comunali della regione Umbria.*

La volumetria complessiva degli edifici presenti e di quella prevista per ogni zona o sottozona, il numero degli edifici presenti, delle abitazioni e di quelle vuote diventano di fondamentale importanza nei progetti di riqualificazione e di rifunzionalizzazione urbana ed oltremodo utili nei meccanismi di contenimento del consumo di suolo (come il de-sealing o greening ad esempio). L'efficienza nella pianificazione e nel monitoraggio territoriale possono quindi essere raggiunte attraverso l'utilizzo di protocolli tecnici GIS comuni a tutti i piani. Tali protocolli devono diventare obbligatori attraverso l'inserimento nelle leggi urbanistiche ma non basta, bisogna anche rendere cogente per l'approvazione dello strumento di pianificazione la consegna dell'elaborato cartografico secondo le specifiche tecniche

stabilite. In sintesi un progetto di mosaicatura degli strumenti urbanistici comunali deve prevedere le seguenti fasi:

- Reperimento della cartografia di piano e delle NTA. E' ovvio che, laddove disponibile, è preferibile lavorare con file che hanno un attributo territoriale e non solo spaziale (file di derivazione GIS e non CAD). In secondo ordine si possono utilizzare file pdf o raster.
- Scegliere un sistema di riferimento da adottare per l'inquadramento della mosaicatura dei piani. La scelta deve essere coerente con il sistema di riferimento adottato dalla regione di riferimento. Ad oggi i geoportali delle varie regioni italiane ancora non sono uniformate all'ETRF2000 (anno di riferimento 2008) per cui ogni regione utilizza un sistema di riferimento congruo alle proprie esigenze scelti tra quelli in uso nel nostro Paese.
- Scegliere la tipologia di file geografico da utilizzare per la digitalizzazione/archiviazione dei dati. La scelta del file naturalmente ne condiziona evidentemente l'uso e la divulgazione nonché l'interoperabilità del dato stesso. Un comune shapefile rappresenta una buona scelta in quanto è ormai lo standard *de facto* per i processi che riguardano l'informazione geografica e può essere aperto da qualsiasi programma GIS. Il database ad esso associato può essere implementato con una serie di campi e informazioni specifiche. Grazie all'utilizzo di operatori quali il join ed il relate, tabelle non spaziali possono essere poi collegate ad esso aumentandone in tal modo il contenuto informativo. Non è consigliabile un geodatabase in quanto innanzitutto può creare dei problemi d'interoperabilità a seconda del formato e del programma che lo ha generato e poi è una tipologia di file che viene maggiormente utilizzata per gestire un intero SIT non solo un suo contenuto (è sempre però possibile integrare uno shapefile in un qualsiasi geodatabase senza perderne il contenuto informativo).
- Effettuare sempre una analisi preventiva costi-benefici per scegliere la migliore procedura da adottare per la vettorializzazione dello zoning di piano. La scelta va effettuata sulla base della natura del file di partenza e dell'estensione territoriale del comune di appartenenza.
- Decidere quali e quante informazioni spaziali e non, devono essere riportate in modo da elaborare, preliminarmente alla digitalizzazione, il numero e la tipologia di campi del database.
- Ai fini di una verifica geometrica della procedura adottata è sempre utile applicare una validazione topologica dello shapefile creato prima di inserire

il file in quello finale di omologazione. Ciò consente di eliminare eventuali errori dovuti a sovrapposizioni tra elementi poligonali, spazi vuoti tra di essi o ancora eliminare poligoni di dimensioni irrisorie creati erroneamente.

L'adozione di procedure standard unitamente ad una maggiore diffusione informatica (attraverso l'ausilio di servizi OGC o webgis), consentirebbe di avere a disposizione uno strumento di dettaglio utile ed aggiornato da utilizzare nell'ambito delle politiche di sviluppo territoriali. Tale prodotto risulta essere di facile gestione ma comunque deve sempre essere aggiornato qualora uno o più comuni aggiornino i propri strumenti di pianificazione. Ciò garantisce ai vari organi amministrativi e politici competenti di avere sempre ben chiaro il quadro delle trasformazioni urbane regionali. Nel recente provvedimento sul contenimento del consumo di suolo discusso ed approvato alla Camera lo scorso 16 Maggio (C. 2039) si fa riferimento alla normativa europea che obbliga gli Stati dell'Unione ad azzerare il consumo di suolo entro il 2050 ed il provvedimento fornisce una serie di indicazioni atte a raggiungere lo scopo. Un obiettivo di così grande portata può essere raggiunto solo se si dispone di uno strumento come quello appena descritto, in grado di essere aggiornato con facilità e di fornire un quadro sempre attuale delle previsioni di trasformazione, unitamente ad altri dispositivi di monitoraggio come ad esempio un registro di suolo (Romano 2014; Romano et al., 2014; Romano et al., 2013). La mosaicatura degli strumenti urbanistici comunali rappresenta uno strumento imprescindibile anche per la realizzazione di quella che può essere definita la "rete ecologica efficace e funzionale". Lo studio dei varchi ecologici individuati lungo le reti infrastrutturali, unitamente alla ricognizione delle previsioni trasformative dei piani nei pressi di tali connessioni, fornisce indicazioni accurate circa la reale possibilità di passaggi di flussi biotici lungo tali segmenti (Fig. 2.10). Permette inoltre di individuare possibili pressioni e/o ostacoli ai flussi biotici e quindi di agire efficacemente per contrastare tali azioni. Grazie all'ausilio delle tecnologie UAV è possibile procedere direttamente alla ricostruzione e alla progettazione degli interventi da effettuare su tali varchi con un livello di dettaglio notevolmente superiore alla cartografia attualmente disponibile (ortofoto e modelli digitali delle superfici con risoluzione geometrica dell'ordine di 2-5 cm per pixel rispetto a quelle regionali che solitamente presentano risoluzioni dell'ordine delle decine di centimetri) in tempi brevi e con costi contenuti. Praticamente è come osservare il territorio con una lente di ingrandimento con il vantaggio di migliorare l'accuratezza ed i contenuti delle analisi svolte e la possibilità di misurare e registrare in maniera continua i mutamenti nel corso del tempo. Il fast monitoring attraverso l'uso delle tecnologie UAV diventa quindi la chiave per monitorare in tempo reale ed in continuo ogni singola

trasformazione che un dato territorio subisce nel tempo con livelli di dettaglio estremi. I risultati di queste analisi forniscono la base conoscitiva per il fast planning rendendo così possibile l'applicazione di meccanismi di controllo adattativo efficaci agganciati alle iniziali strategie di partenza.

Fig. 2.10 - *Studio dell'efficacia di un varco ecologico lungo la strada europea E45 nella Regione Umbria.*

Le nuove tecniche legate al real time sensing aprono quindi nuovi orizzonti circa le possibilità applicative ed il loro utilizzo nei processi di diagnosi ambientale e di pianificazione territoriale. Inoltre la possibile implementazione di scenari evolutivi sarebbe di supporto notevole alla programmazione, alla pianificazione territoriale e alle procedure di valutazione ambientale (Gontier et alii, 2010; Zullo et alii, 2015; Gunasekera, 2014). La possibilità di ottenere dati territoriali di maggior dettaglio attraverso il rilievo UAV e di elaborare in ambiente GIS informazioni con una maggiore precisione ed in tempi abbastanza brevi, facilita la comprensione delle dinamiche dei fenomeni che agiscono su un determinano ambiente. Ciò consente di monitorare e controllare diverse realtà territoriali in condizioni di massima sicurezza anche per quelle aree colpite da calamità naturali (Apvrille, 2014; Maza et alii, 2011;

Chou et alii, 2010; Suzuki et alii, 2008) quali frane, terremoti, alluvioni o anche aree in cui si siano verificate condizioni di fuoriuscita e dispersione di sostanze tossiche. Da un lato quindi aumenta il dettaglio di elaborazione e di restituzione degli output tecnici (informazioni e analisi) dall'altro aumenta la consapevolezza del decisore circa le azioni di politica e di gestione territoriale.

## 2.5. L'integrazione GIS – UAV a supporto della pianificazione territoriale

L'integrazione tra sistemi UAV e GIS rappresenta una risorsa dalle enormi potenzialità che può essere utilizzata solo se si dispone delle necessarie conoscenze tecniche e scientifiche. Come abbiamo avuto modo di vedere nei paragrafi precedenti, un sistema informativo territoriale consente di mettere in relazione tra loro elementi diversi sulla base del loro comune sistema di riferimento ed estensione spaziale creando nuove informazioni a partire dai dati iniziali. Tutti i GIS possiedono una serie di funzioni, algoritmi e strumenti specifici utili alla comprensione dei fenomeni territoriali e alla elaborazione di scenari evolutivi-diagnostici attraverso trasformazioni, interpolazioni, elaborazioni e metodi che permettono di accedere contemporaneamente sia agli attributi spaziali sia a quelli alfanumerici ad essi collegati. Tali caratteristiche rendono il GIS un vero strumento di supporto alle decisioni, in quanto le sue funzioni consentono il confronto e la sintesi di enormi quantità di dati, con la possibilità di effettuare stime e scenari su andamenti futuri di uno o più fenomeni complessi. L'analisi spaziale è dunque la prerogativa fondamentale di ogni sistema informativo geografico e ne rappresenta l'elemento principale e caratterizzante, ma al tempo stesso anche il più complesso da utilizzare. L'analisi spaziale mette in evidenza quelle relazioni già presenti in maniera implicita negli elementi geografici di partenza, ma che sono difficili da comprendere a pieno solo con l'osservazione del dato stesso. Si tratta quindi di operatori, strumenti, algoritmi più o meno complessi in grado di mettere a sistema uno o più dati spaziali in input restituendo in output sia dati spaziali sia informazioni di carattere alfanumerico. L'informazione territoriale di estremo dettaglio del rilievo UAV diventa il dato in input nel GIS che ne permette l'elaborazione ai fini dell'analisi spaziale complessa. Fondamentalmente ogni rilievo effettuato con un drone dotato di una normale fotocamera, restituisce una serie di immagini georeferenziate che, elaborate attraverso specifici software fotogrammetrici, permettono di generare un modello digitale di elevazione (la quota è riferita in tal caso alla superficie degli elementi presenti sull'area di indagine a meno di disporre di strumentazione LIDAR) e una ortofoto dell'area rilevata con risoluzioni geometriche elevate (ordine dei cm/pixel) (vedi Cap.3). L'uso di questi prodotti cartografici in un sistema GIS

permette l'applicazione di una serie di analisi spaziali che estendono in modo considerevole la conoscenza del territorio e lo studio dei fenomeni di matrice territoriale. Analisi tridimensionali, calcolo dei volumi, elaborazione delle acclività o dell'esposizione dei versanti, elaborazione dei bacini imbriferi, analisi di intervisibilità, individuazione delle linee di scorrimento superficiale delle acque sono solo alcune delle possibilità. L'elevata risoluzione geometrica influenza notevolmente il dettaglio con cui tali analisi possono essere condotte e di conseguenza anche il livello di conoscenza territoriale o del fenomeno indagato. La Fig. 2.11 evidenzia le differenze di diverse risoluzioni di rilievo su una stessa area attraverso un modello di elevazione digitale (DEM). In particolare la figura 2.11a è relativa ad un DEM a risoluzione geometrica 10 metri, la 2.11b invece riguarda un DEM 2,3 m/pixel mentre la 2.11c è relativa alla stessa porzione di territorio delle due precedenti solo che ha una risoluzione geometrica pari a 13 cm/pixel. Va precisato che il concetto di risoluzione geometrica è legato appunto alla sezione di territorio discretizzata dal pixel e con essa la superficie alla quale si riferisce quel dato valore di quota in questo caso. In altri termini un DEM a risoluzione geometrica 10m indica che ogni pixel copre una parte di territorio pari a 100 $m^2$ ed ha associato un solo valore di quota. Più aumenta la risoluzione geometrica del raster, più diminuisce il settore di territorio discretizzato e maggiore è l'accuratezza nel rappresentare, in questo caso, la morfologia di una data superficie.

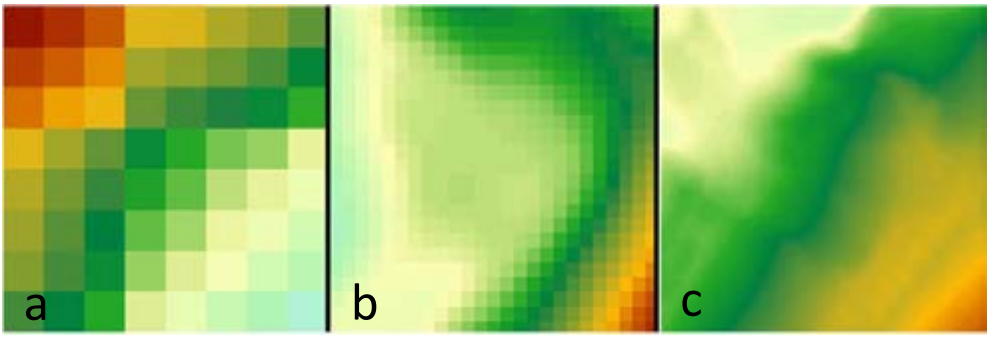



Fig. 2.11 - *a) DEM a 10 m; b) DEM a 2,30 m; c) DEM a 0,13 m*

La facile replicabilità della procedura di rilievo, i tempi brevi dello stesso e di quelli legati all'elaborazione del dato primario, rendono questi strumenti efficaci ed efficienti nei meccanismi del fast monitoring e della relativa messa in campo di opportuni meccanismi di controllo. Il monitoraggio del territorio per scopi di controllo o pianificazione, necessita di costante innovazione in termini di processi e

tecnologie di rilevamento dei parametri ambientali. Il telerilevamento, e con esso i sistemi GIS, sono in rapida evoluzione sia nelle tecnologie che nelle metodologie di analisi, soprattutto per quanto riguarda la ripresa e lo studio del territorio: sensori sempre più specializzati e geometricamente più performanti lo rendono un settore di ricerca sempre in rinnovamento. Oggigiorno si ha quindi la concreta possibilità di allestire database geografici sempre più dettagliati e aggiornabili con maggiore frequenza grazie ai quali il monitoraggio territoriale e ambientale, e le successive fasi di decisione e pianificazione, diventano molto più veloci, attendibili ed efficienti. Negli ultimi anni l'uso congiunto dei SIT e dei sistemi UAV si sta rivelando essere uno strumento efficace anche per il monitoraggio, il controllo e la gestione delle emergenze a seguito di calamità naturali e non solo per questo ma anche per lo studio, per la ricerca delle cause che li generano, per l'analisi del rischio circa le componenti ambientali e antropiche coinvolte oltre che per le misure da mettere in atto al fine di prevenire o ridurne le conseguenze. Per meglio comprenderne la funzionalità e le potenzialità viene di seguito illustrata una analisi condotta in ambiente GIS circa i fenomeni sismici nel nostro Paese. L'area maggiormente interessata da fenomeni di questa natura risulta essere il sistema appenninico e solo nell'ultimo decennio 4 importanti eventi sismici (L'Aquila 2009, Emilia Romagna 2012; Amatrice – Accumoli e Norcia 2016) hanno provocato ingenti danni al patrimonio edilizio-abitativo e storico-culturale oltre a centinaia di morti e decine di migliaia di sfollati. Uno dei maggiori problemi legati con gli eventi tellurici è quello del rischio sismico inteso come le conseguenze di un potenziale danno economico, sociale ed ambientale derivante da eventi sismici pericolosi che possono occorrere su un certo territorio in un dato periodo di tempo. I danni legati ad un evento sismico sono fortemente dipendenti dalla vulnerabilità sismica degli edifici dovute principalmente alle caratteristiche di costruzione degli edifici e dal loro stato di conservazione oltre che dal grado di pericolosità della zona in cui si trovano. Per quanto riguarda quest'ultimo punto l'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) ha realizzato una mappa di pericolosità sismica nazionale sulla base di quanto stabilito dall'OPCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b. La mappa rappresenta le varie classi di pericolosità in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Vs > 800 m/s; cat.A, punto 3.2.1 del 30 D.M. 14.09.2005). E' proprio sulla base dell'intensità e della frequenza dei terremoti del passato che è stata stilata una classificazione dei comuni in 4 diverse zone sismiche (OPCM n. 3274 del 20 marzo 2003) di seguito riportate:

**Zona 1 - E' la zona più pericolosa. Possono verificarsi fortissimi terremoti;**

**Zona 2 - In questa zona possono verificarsi forti terremoti**

**Zona 3 - In questa zona possono verificarsi forti terremoti ma rari**

**Zona 4 - E' la zona meno pericolosa. I terremoti sono rari**

| Zona sismica | Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag) |
|---|---|
| 1 | ag >0.25 |
| 2 | 0.15 <ag≤ 0.25 |
| 3 | 0.05 <ag≤ 0.15 |
| 4 | ag ≤ 0.05 |

Tab.2.2 - *Parametri di classificazione in zone sismiche dei comuni (OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006).*

Nel rispetto degli indirizzi e criteri stabiliti a livello nazionale, alcune Regioni hanno classificato il territorio nelle quattro zone proposte, altre Regioni hanno classificato diversamente il proprio territorio, ad esempio adottando solo tre zone (zona 1, 2 e 3) e introducendo, in alcuni casi, delle sottozone (Fig.2.13). Lungo l'appennino si trovano in zona 1 oltre 650 comuni pari a circa il 20% di quelli italiani della stessa categoria. In zona 2 rientrano invece circa 1100 comuni (50% del totale dei comuni nazionali della stessa categoria) che occupano una superficie di quasi 56.000 km$^2$. L'analisi condotta a livello demografico mostra come siano circa 8 milioni gli abitanti che attualmente risiedono nei comuni delle prime due classi di zona sismica, 41.000 abitanti in più rispetto a quanto rilevato dall'ISTAT nel decennio precedente, ma ben 560.000 abitanti in meno rispetto al censimento del 1951, in seguito ai ben noti fenomeni di abbandono delle aree interne montane. Un semplice confronto analitico in un software GIS tra dati di questa natura e quelli relativi alla geografia delle aree urbanizzate attualmente presenti in Italia permette di stabilire quali e quante aree si trovano in condizioni di pericolosità sismica elevate. L'analisi condotta per il sistema appenninico italiano evidenzia come circa 2.800 kmq (pari al 78% del totale presente in appennino) di superfici urbanizzate si trovino all'interno di comuni ad elevata pericolosità sismica. Non solo, attraverso opportune procedure operative GIS sui dati Istat disponibili è possibile ottenere indicazioni sulle tipologie costruttive (legno, acciaio, calcestruzzo armato, muratura portante) e sullo stato di conservazione

(ottimo, buono, mediocre, pessimo – fig. 2.12) oltre che sui residenti su base geografica (sezione censuaria).

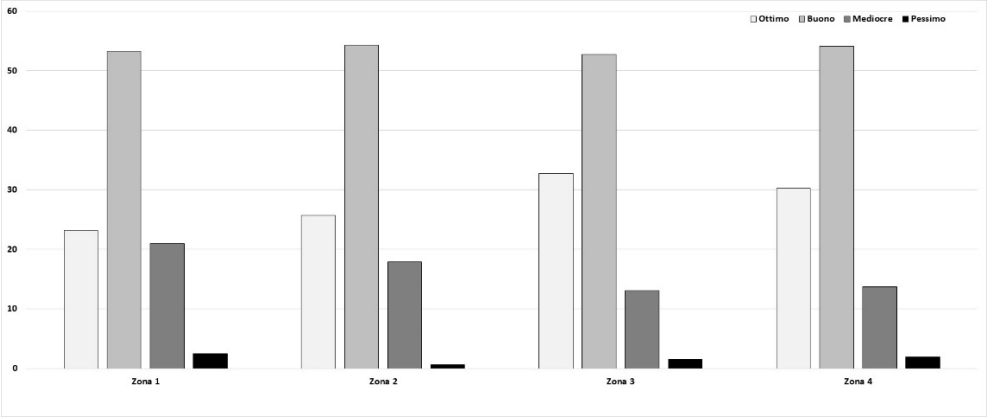



Fig.2.12 - *Stato di conservazione degli edifici nelle varie zone di pericolosità sismica lungo il sistema appenninico.*

Inoltre dall'analisi dei dati del censimento ISTAT relativi ad edifici ed abitazioni (Istat 2011) emergono delle informazioni inedite: nei comuni in zona sismica 1 tra il 1946 ed il 2001 sono stati realizzati quasi 550.000 (patrimonio edilizio-abitativo più che raddoppiato rispetto a quello presente fino al 1946) edifici residenziali (ben 10.000 nuovi edifici ogni anno, 28 ogni giorno) mentre la popolazione è diminuita di oltre 370.000 unità. In zona 2 invece sono stati realizzati in poco più di 50 anni poco meno di un milione di nuovi edifici residenziali ad un ritmo medio di 18.000 ogni anno corrispondenti a 50 edifici al giorno. La popolazione nello stesso periodo è diminuita di 235.000 abitanti. Nell'ultimo decennio l'economia legata al settore delle costruzioni ha perso, per una serie di motivi, l'energia che l'aveva caratterizzata nei decenni precedenti e che lo ha reso una voce importante nel PIL nazionale ma comunque altri 133.000 nuovi edifici si sono aggiunti a quelli esistenti nei territori dei comuni delle zone sismiche 1 e 2 (43.000 in zona 1 e 90.000 in zona 2). Includendo nel calcolo anche gli altri edifici presenti sul territorio (alberghi, strutture ricettive, edifici pubblici, etc..) si ottiene un valore di circa 3.000.000 di cui oltre 1 milione in zona 1. Tali informazioni possono rappresentare una utile base informativa di partenza per approntare misure preventive volte all'adeguamento/miglioramento sismico delle strutture presenti ai fini della diminuzione del rischio e della vulnerabilità sismica dei luoghi.

Fig. 2.13 – *Classificazione sismica al 2015 lungo l'appennino.*

Anche nelle fasi post emergenziali i SIT rappresentano degli utili strumenti per analizzare i dati e costruire efficaci database geografici che serviranno poi per gestire l'intera fase dell'emergenza e fornire il quadro conoscitivo aggiornato in maniera da procedere con i piani di recupero delle aree coinvolte (Fig.2.14). In tal senso i sistemi UAV possono essere utilizzati per rilevare nell'immediato le conseguenze dell'evento sismico sulle singole strutture ma anche su interi centri fornendo documentazione tecniche e informazioni dettagliate sui danni in condizioni di totale sicurezza per l'operatore deputato al rilievo.

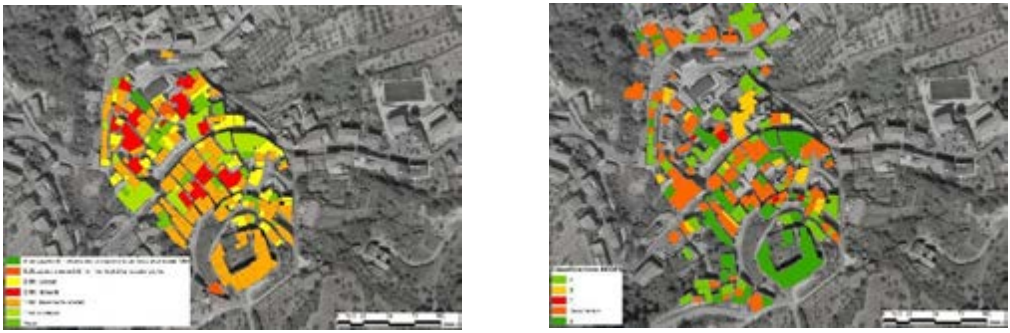


Fig. 2.14 – *Stato di conservazione e classificazione AEDES degli edifici di un comune del cratere sismico del 2009 (tali elementi sono stati poi utilizzati per la programmazione degli interventi nel piano di recupero)*.

## Cap. 3 I Sistemi UAV per la diagnosi ambientale (A. Marucci)

### 3.1. Pianificazione di una missione di volo

La pianificazione di una missione di volo è un'operazione che richiede la valutazione di diversi parametri importanti che variano a seconda della tipologia di rilievo e dalle modalità con le quali lo si effettua. In generale si definisce pianificazione di una missione la procedura attraverso la quale è possibile acquisire diverse tipologie di dati con l'ausilio della sensoristica montata a bordo dell'UAV. Possono essere acquisiti filmati, immagini fotografiche, termogrammi o altro ma comunque è necessario predisporre un programma delle azioni fondamentali. Qualunque sia la modalità di volo risulterà molto utile una checklist delle operazioni preliminari come il controllo del funzionamento della macchina e dei sensori, la calibrazione dei sistemi, lo stato delle batterie.

**Preflight checklist**

- Phantom & R/C battery charged
- Tablet charged (reset or remove apps from memory)

- Propellers installed and tightened
- Remove gimbal lock
- Gimbal not obstructed (grass)
- Tablet volume & luminosity to MAX
- Tablet « Do Not Disturb » Mode
- Tablet to R/C cable attached
- Tablet Wifi & BT **OFF**
- R/C **ON**
- R/C in **P-Mode**
- Phantom **ON**
- Launch DJI Pilot app

  Check values :
  - Compass status
  - IMU values (0, 1, 1400-1600)
  - Gain values
  - Max height
  - RTH height (depends on flight location)
  - R/C EXP & Gain (0,5-0,4-0,5)
  - VPS ON (if indoor flight)
  - Satellite status

- Format SD card
- Camera settings (LOG, video size, ...)
- Gimbal configuration (1, 2 or 3)
- **CHECK HOME POINT**
- **CHECK BATTERY STATUS (Cells)**

**Takeoff**

Hover 30 seconds & check stability

**Aircraft LED Status**

| | |
|---|---|
| **Normal** | |
| R G Y —— Red, Green and Yellow Flash Alternatively | Turning On and Self Diagnostic Testing |
| G Y —— Green and Yellow Flash Alternatively | Warming Up |
| G ····· Green Flashes Slowly | Safe to Fly (P-mode with GPS and Vision Positioning) |
| G X2 ····· Green Flashes Twice | Safe to Fly (P-mode with Vision Positioning but without GPS) |
| Y ····· Yellow Flashes Slowly | Safe to Fly (A-mode but No GPS and Vision Positioning) |
| **Warning** | |
| Y —— Fast Yellow Flashing | Remote Controller's Signal Lost |
| R ····· Slow Red Flashing | Low Battery Warning |
| R ····· Fast Red Flashing | Critical Battery Warning |
| R ····· Red Flashing Alternatively | IMU Error |
| R —— Solid Red | Critical Error |
| R Y ····· Red and Yellow Flash Alternatively | Compass Calibration Required |

**RC LED Status**

| Status LED | Alarm | Remote Controller Status |
|---|---|---|
| R —— Solid Red | ♪ Chime | The remote controller is disconnected from the aircraft. |
| G —— Solid Green | ♪ Chime | The remote controller is connected to the aircraft. |
| R ····· Slow Blinking Red | D-D-D—— | Remote controller error. |
| R G / R Y —— Red and Green/ Red and Yellow Alternate Blinks | None | HD downlink is disrupted. |
| **RTH LED** | **Sound** | **Remote Controller Status** |
| W —— Solid White | ♪ Chime | Aircraft is returning home. |
| W —— Blinking White | D—— | Sending Return-to-Home command to the aircraft. |
| W —— Blinking White | DD - - - | Return-to-Home procedure in progress. |

Fig. 3.1 – *Preflight checklist. LED status.*

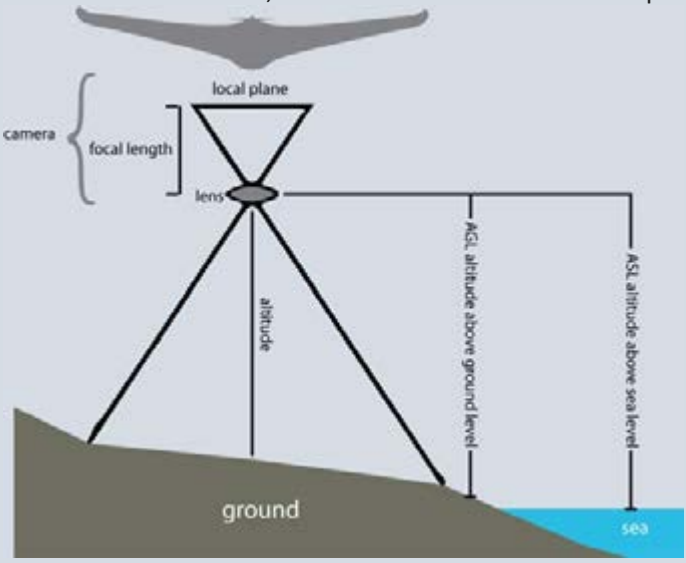
A tal proposito è necessario sottolineare l'importanza per i ready to fly, ovvero i droni pronti al volo come la serie Solo della 3DR o la serie Phantom della DJI, di

approfondire la conoscenza degli indicatori di stato luminosi (Fig.3.1). Attraverso le differenti configurazioni luminose dei LED delle macchine e del radiocomando è possibile verificare lo stato normal o warning dei sistemi. E' molto importante fare una valutazione dell'area da mappare prima di una missione di volo. L'area deve essere ispezionata in modo da individuare possibili ostacoli come edifici, linee elettriche, alberi di grandi dimensioni, aree sensibili, o altre insidie potenziali. Come si vedrà più avanti, è necessario che l'operatore abbia una visione chiara e completa della zona di volo per evitare collisioni o altri tipi di problematiche. Anche l'area di decollo e atterraggio richiedono un'attenta valutazione da parte del pilota. L'atterraggio in particolare è un momento critico poiché è la fase in cui il drone potrebbe toccare terra con un assetto non ottimale, sia per le condizioni morfologiche sia per fattori esterni come il vento. Infatti se il decollo risulta essere agevole anche in condizioni di terreno non perfette (piccole buche o leggera pendenza), l'atterraggio nello stesso punto potrebbe essere difficoltoso e produrre ribaltamenti e di conseguenza danni al mezzo nonché causare situazioni di rischio per l'operatore. Per evitare tali problematiche è possibile utilizzare piccole piattaforme di decollo portatili che possono essere regolate per avere un giusto assetto. In ogni caso, sia se si usino piattaforme o meno, è consigliabile effettuare l'atterraggio sempre in modalità manuale poiché ci potrebbe essere uno scostamento (nell'ordine del metro) con il punto di decollo dovuto alla sensibilità del sistema di posizionamento satellitare. La prima fase di una buona programmazione del volo è valutare se la missione sarà effettuata attraverso un volo manuale, automatico o in entrambe le modalità. Nel volo manuale il pilota conduce direttamente il drone secondo le sue necessità, variando in continuo l'assetto, la velocità e la quota. E' una tecnica di rilievo classica delle ispezioni aeree di strutture come edifici, tralicci, torri e gli output sono solitamente filmati e foto. Un volo automatico prevede che il drone faccia una serie di azioni programmate secondo determinate specifiche e che il pilota verifichi che la missione si svolga correttamente. In ogni caso è fondamentale che l'operatore sia sempre in grado di commutare il volo automatico in manuale, così da poter acquisire sempre il pieno controllo del velivolo. In questo volume verranno discussi approfondimenti di tecniche di volo automatico in quanto sono quelle che meglio soddisfano le esigenze di mappatura e monitoraggio territoriale implementabili poi in ambiente GIS. I sistemi UAV rappresentano la naturale evoluzione dell'aerofotogrammetria, con una risposta qualitativa superiore alla topografia classica. Le tecniche di rilievo sono le stesse adottate nel rilievo da aereo, anche se le superfici catturabili in una singola missione sono minori e le quote più basse. Ogni "presa" va accuratamente progettata al fine di ottenere una GSD (Ground Resolution Distance) soddisfacente.

I recenti progressi matematici sugli algoritmi di controllo non solo hanno superato il limite del rollio, del beccheggio e delle angolazioni durante il volo, ma hanno anche permesso l'utilizzo di fotocamere non metriche in modo fotogrammetrico, fornendo come risultato finale, nuvole di punti confrontabili con quelle ottenute tramite laser scanner, ma a costi notevolmente inferiori.

***Box: Ground Sampling Distance GSD*** - *Distanza di campionamento a terra*

La risoluzione in fotografia aerea è misurata come la distanza di campionamento a terra (GSD) ovvero la lunghezza a terra corrispondente al lato di un pixel nell'immagine, o la distanza tra i centri dei pixel misurati a terra.
L'ottenimento di una buona risoluzione dipende dalla quota di volo e il tipo del sensore digitale utilizzato, in genere un CCD (dispositivo ad accoppiamento di carica) o CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor). Una grande GSD (10 cm) significa che un minor numero di dettagli saranno risolvibili nell'immagine e sarà di qualità inferiore, mentre una GSD più piccola (5 cm) significa l'esatto contrario. La GSD aumenta con la quota di volo del drone e diminuisce man mano che la distanza tra camera e oggetto diminuisce. E' influenzata anche dalla lunghezza focale della fotocamera, così come la sua risoluzione in pixel.




Il piano di acquisizione delle immagini è strettamente dipendente dall'oggetto (o dall'area) da ricostruire. Possono essere individuati tre casi generali:

1. **Mappatura 2D:** presa su aree estese (alcuni ettari) dove si predilige il rilievo territoriale per la produzione di ortofoto e Modelli di Elevazione Digitale (DEM) da utilizzare in ambiente GIS. La sovrapposizione longitudinale minima (overlap) rispetto alla direzione di volo è di almeno il 75% e quella laterale (overside) è almeno del 60%. La fotocamera deve essere mantenuta il più possibile a un'altezza costante sul terreno/oggetto per garantire il GSD desiderato.
2. **Mappatura 3D:** sono inclusi tutti i casi in cui elementi di verticalità (edifici, strutture, pareti, scogliere ed altro) non sono trascurabili rispetto all'area di rilievo. La ricostruzione tridimensionale richiede una doppia griglia per il piano di acquisizione immagini, in modo che tutte le verticalità siano visibili sulle foto. La sovrapposizione dovrebbe essere uguale a quella del caso generale. Il sensore fotografico ha una inclinazione di circa 70° e non più nadirale come per la mappatura 2D (90°). E' possibile integrare il set di immagini con un rilievo in volo manuale per le zone meno visibili, o anche avvalendosi di riprese fotografiche da terra.
3. **Modellazione 3D:** in questo tipo di modellazione la tridimensionalità assume un ruolo centrale e dunque occorre effettuare un primo volo intorno all'oggetto (sia esso una struttura naturale o architettonica) con la fotocamera inclinata a 45°. E' necessario procedere successivamente una seconda e terza volta aumentando l'altezza di volo e diminuendo l'angolo della camera ad ogni turno. E' raccomandabile prendere una serie di immagini ogni 5-10 gradi per garantire sufficiente sovrapposizione, a seconda delle dimensioni dell'oggetto e la distanza rispetto ad esso. L'altezza di volo non deve essere aumentata più di due volte tra i voli.

Per ottenere un set di informazioni qualitativamente valido è necessario utilizzare sistemi di volo automatizzato utilizzando determinati software definiti genericamente mission planner. Attraverso tali software è possibile pianificare missioni più o meno complesse. Tali sistemi, nativi inizialmente per UAV "aperti", vengono oggi prodotti e distribuiti anche per droni ready to fly, macchine semi-professionali di ridotte dimensioni (peso e ingombri), versatili e di facile utilizzo. Tecnicamente definiti Ground Control Station (GCS) o stazione di controllo a terra, sono sistemi GIS-based che, attraverso provider come Google o OSM (Open Street Map), permettono di realizzare piani di volo e soprattutto generare prese fotogrammetriche. Una stazione di terra in genere è una applicazione software, in esecuzione su un computer a terra (o device come smartphone o tablet), che comunica con l'UAV tramite telemetria wireless. Esso mostra i dati in tempo reale

sulle prestazioni e la posizione e può servire come un "cockpit virtuale", che mostra molti degli stessi strumenti che si avrebbero se si stesse volando su un vero e proprio mezzo aereo. Una GCS può anche essere utilizzata per controllare un UAV in volo, caricare nuovi comandi o missioni e impostare differenti parametri. Attraverso la GCS si ha una diretta video con la camera montata a bordo del drone. Ci sono in rete (open e licenziate) diverse stazioni di controllo a terra. Gli applicativi desktop più noti sono: Mission Planner, APM Planner 2, MAVProxy, QGroundControl e UGC (Fig. 3.2). Anche le case produttrici di droni rilasciano GCS specifici come Ground Control Station della DJI (per A2, ACE ONE, ACE, WAYPOINT, WKM, NAZA-M, NAZA-M V2, Phantom 2) o come eMotion, flight planning e control software della SenseFly.

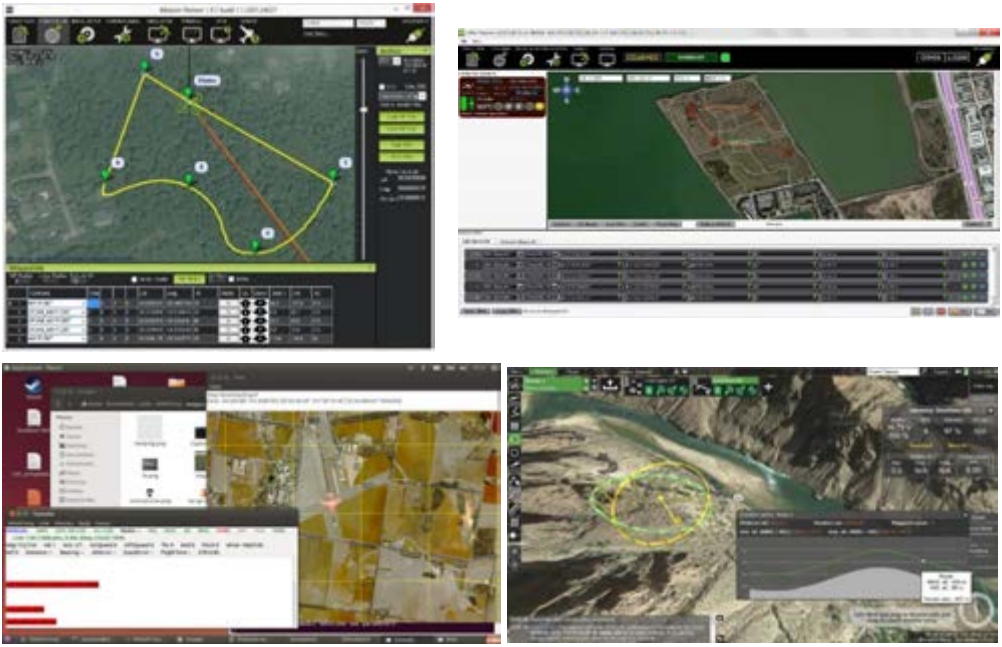


Fig. 3.2 – *Desktop mission planner.*

Una interessante soluzione è rappresentata dal software licenziato UgCS - Universal Ground Control Station - sistema che ha una piattaforma desktop che permette di gestire anche più UAV contemporaneamente. UgCS è in grado di gestire molte tipologie di UAV (APM, Pixhawk, DJI, Mikrokopter ecc), sia sistemi aperti che ready to fly, ed è di facile utilizzo. Il software si appoggia su un sistema 3D e supporta più livelli di mappa così come diversi providers. Per GCS non si intendono solo sw

desktop ma anche applicativi per device come tablet e smartphone. Negli ultimi anni si sono moltiplicati applicativi per iOS e Android che permettono l'acquisizione automatica dei dati. I più utilizzati nel campo delle acquisizioni per scopi fotogrammetrici sono Pix4D Capture, DroneDeploy, InFlight Data Mapper, Litchi, Map Pilot. Le applicazioni sono state sviluppate per una serie di droni ready to fly delle maggiori case produttrici attualmente presenti sul mercato (DJI, Parrot, 3DR) e vengono costantemente aggiornate. Questa tecnologia trova un largo riscontro poiché, a differenza di quella utilizzata dalle GCS, richiede un livello di capacità e conoscenze inferiore, dunque pronta all'uso, con un numero di "azioni" limitato come, ad esempio, le possibilità di settaggio dei sensori. Nonostante ciò tali sistemi user friendly riescono garantire risultati di buona qualità. Attraverso la tecnologia A-GPS presente su qualsiasi smartphone o tablet, la posizione del dispositivo viene visualizzata sulla mappa visualizzata nello schermo, dove è possibile vedere anche la posizione del drone. Questo permette con una certa facilità di individuare univocamente l'area da rilevare attraverso un poligono le cui dimensioni possono essere modificate. All'interno di questa griglia vengono visualizzate le strisciate che il drone effettuerà per coprire l'intera area di interesse oltre al punto di inizio e di fine della missione. Il numero di strisciate è influenzato sostanzialmente da due parametri: la quota di volo e la percentuale di sovrapposizione tra le stesse. E' inoltre possibile settare la velocità con la quale il drone effettuerà il rilievo e l'angolo di ripresa della camera. E' molto importante controllare che il GPS del drone riceva il segnale di un numero elevato di satelliti per eseguire l'operazione di rilievo in tutta sicurezza. A tale scopo il drone è dotato di un sistema di segnalazione luminoso che indica all'operatore l'avvenuta acquisizione del segnale. L'applicazione monitora costantemente il numero dei satelliti con i quali è collegato l'UAV, la distanza orizzontale dal controller, la sua velocità di spostamento orizzontale (in m/s) e la quota rispetto al punto dal quale è stato effettuato il decollo. A seconda della dimensione dell'area da rilevare, della percentuale di sovrapposizione tra le strisciate e della velocità impostata, cambia il tempo impiegato dal drone per effettuare l'acquisizione dei fotogrammi. Il tempo è una variabile da tenere sempre in considerazione in quanto l'autonomia di volo di questi mezzi di solito si aggira sui venti/trenta minuti circa in condizioni standard. Il tempo di missione e la dimensione dell'area da rilevare vengono riportate sullo schermo (Fig. 3.3). L'applicazione dispone di sistemi di controllo che permettono di bloccare l'esecuzione del volo se l'area da rilevare è troppo ampia, se la quota di volo prescelta è troppo bassa o se il drone si trova a più di 150 metri dal takeoff. I costanti aggiornamenti delle app incrementano notevolmente le funzionalità dei sistemi. In particolare è possibile salvare il piano di volo effettuato e richiamarlo ogni qualvolta ce ne sia bisogno. Ciò

facilita quindi il monitoraggio nel tempo di particolari aree utilizzando sempre gli stessi piani di volo e, di conseguenza, gli stessi parametri impostati. Inoltre, una volta terminato il volo dell'area da rilevare, alcune applicazioni elaborano un nuovo piano avente le stesse dimensioni con gli stessi parametri adiacente al precedente (un lato in comune). Tale operazione facilita quindi il rilievo di aree più ampie evitando al contempo la duplicazione di fotogrammi relativi alle medesime porzioni territoriali.

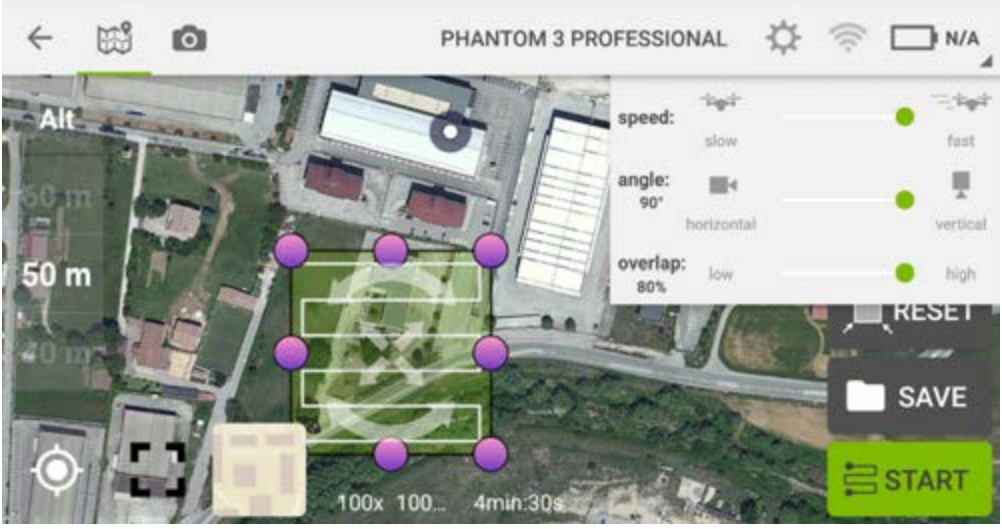



Fig. 3.3 – *Pix4D Capture, applicativo per tablet e smartphone.*

Essendo il volo una operazione di per se abbastanza delicata, l'applicativo dispone di un sistema di controllo al fine di ridurre i possibili rischi ad esso collegati. Viene visualizzata prima dell'esecuzione automatica del volo, una drone takeoff check list che indica il funzionamento dei sistemi durante le diverse fasi di acquisizione. Questa lista di controllo viene analizzata automaticamente affinché tutti i parametri presenti siano stati considerati/impostati correttamente prima di eseguire la missione. La "spunta" di colore verde segnala la corretta impostazione dello stesso mentre al contrario una croce rossa indica che quel parametro presenta degli errori per cui l'esecuzione del volo non viene effettuata fintanto che non avviene la giusta correzione/modifica dello stesso. L'acquisizione delle immagini in volo avviene direttamente su una memoria di massa a bordo del drone (alcune applicazioni permettono l'archiviazione contemporanea anche sullo smartphone o tablet collegato al controller), mentre l'applicazione segnala lo stato di avanzamento della missione e la corretta esecuzione dello scatto. Il rilievo viene eseguito in maniera

automatica con il pilota che svolge un ruolo di controllo attraverso il monitoraggio visivo del mezzo e della telemetria. In caso di problematiche riscontrate in volo il pilota può decidere se terminare la missione facendo tornare il drone nel punto da dove è partito o assumerne direttamente il controllo. Qualunque sia l'applicativo utilizzato un parametro fondamentale è comunque una buona connessione alla rete internet. Infatti tutti questi sistemi come detto sono basati sulla visualizzazione di cartografie Google o OSM (Open Street Map). E' dunque necessario riuscire a caricare la base cartografica per confermare la posizione del drone e del controller. La mancanza di tale condizione non impedisce la missione, ma potrebbe causare problemi dovuti al fatto che non è possibile valutare possibili aree a rischio collisione (es.rilievi su versanti a forte acclività). Attualmente gli applicativi mettono a disposizione la possibilità di salvare mappe off line in modo da poterle visualizzare in mancanza di connessione. Il rilievo eseguito attraverso questi strumenti produce una serie di fotografie georeferenziate del territorio indagato. La fotografia, come noto, rappresenta uno strumento fondamentale per quanto riguarda la quasi totalità delle operazioni di rilievo ed accompagna tutte le fasi di acquisizione dati. In svariati casi la fotografia stessa costituisce un utile supporto per la derivazione di alcune informazioni fondamentali per determinare la metrica degli elementi. Attraverso l'immagine fotografica "metrica" è possibile avere informazioni sia quantitative (stereometria, morfologia, geometria) che qualitative (materia, cromatismi, degradi). La fotogrammetria rappresenta una di quelle scienze che più si è evoluta attraverso l'ausilio di nuove tecnologie sia di tipo hardware (come i droni appunto) sia di tipo software i quali hanno permesso un maggior grado di automazione del processo, e di nuovi strumenti utili a migliorare modalità e qualità del lavoro come le nuove camere digitali compatte e sistemi GPS più efficienti. I fotogrammi ottenuti attraverso il rilievo devono essere poi elaborati attraverso specifici software fotogrammetrici o utility GIS al fine di ottenere informazioni territoriali dettagliate.

***Risorse online***

| **Mapping / Surveying** |
|---|
| *MapPilot* - by MME (Maps Made Easy) @ www.mapsmadeeasy.com - iOS<br>*Pix4D Capture* by Pix4D @ www.pix4d.com - iOS / Android - Free<br>*Altizure* - by Everest Inovation Tech @ https://www.altizure.com/features - iOS / Android - Free<br>*DroneDeploy* - by DroneDeploy @ www.dronedeploy.com - iOS / Android - Free<br>*UgCS 2.81* by SPH Engineering - http://www.ugcs.com - Ground station Win/Mac/Linux - Free<br>*UgCS* for DJI by SPH Engineering - http://www.ugcs.com -Ground station - Android - Free<br>*Hivemapper* - by Hivemapper - http://hivemapper.com - 3D map for drones - Android – Free |
| **Panorama** |
| *DronePan* - by Dennis Baldwin @ www.dronepan.com - iOS - Free<br>*InspirePano* http://inspirepano.com - iOS<br>*F360 Drone Photos* by mdeplus @ www.mdeplus.com - Andriod – Free |
| **Multi Purpose Waypoint** |
| *Airnest* - by Airnest Ltd @ www.airnest.com - iOS<br>*Autopilot* @ www.autoflightlogic.com - iOS<br>*Airspace* - by Auto Flight Logic - Telemetry sharing Add-On - iOS - Free<br>*FpvCamera* - by fpvBooster @ www.fpvbooster.com - iOS - Extra in App purchases.<br>*Litchi* - by VC Technology Ltd @ www.flylitchi.com - iOS / Android<br>*Litchi Magic Leash* - by VC Technology Ltd Follow me Add-On - iOS / Android - Free<br>*Ultimate Flight v3* - by Ken @ www.djiultimateflight.com - Android<br>*DJI Phantom Flight v3* by Beyond the Cube @ http://txpower.beyondthecube.ca - iOS / Android<br>*CoPilot Basic* - by FreeSkies @ www.freeskies.co - iOS - Extra in App purchases.<br>*Vertical Studio* by Vertical Studio @ www.vertical.ai - iOS / Android |
| **3D VR Apps** |
| *3D FPV* by Visual Vertigo @ www.visual-vertigo.com - iOS / Android<br>*REVIEW* - http://www.rcgroups.com/forums/showp...ostcount=53370<br>*3D VR* Cockpit by Visual Vertigo @ www.visual-vertigo.com - iOS<br>*Dream Flights* by Dream Flights VR @ www.dreamflights.pro - Android<br>*DroneVR* by Appologics @ http://appologics.com - iOS / (Android beta)<br>*CloudlightFPV* by CloudlightFPV @ http://cloudlightfpv.com - iOS<br>*Vision Pilot 3* by Taco-rc @ https://itunes.apple.com/us/app/visi...3/id1093403121 - iOS |
| **Open Source Apps** |
| *DroneBlocks* By Dennis Baldwin @ www.droneblocks.io creator of drone pan iOS - Free<br>*Dji Demo* by Dave Jacob @ http://dronegroundstation.azurewebsites.net - Android - Free |

## 3.2. Il rilievo tridimensionale attraverso UAV

Le principali tecniche di rilievo tridimensionale si possono classificare in due gruppi:

- *tecniche range-based, metodologie basate su sensori attivi;*
- *tecniche image-based, metodologie basate su sensori passivi.*

Le tecniche range-based utilizzano sensori attivi i quali emettono un segnale che viene registrato dallo strumento stesso al fine di derivarne una misura di distanza (Fig. 3.4). Ne sono un esempio il laser scanner, le stazioni totali, i GPS, i radar. In particolare i laser scanner sono sempre più utilizzati per l'acquisizione di dati ad alta risoluzione e gli hardware hanno sempre più dimensioni ridotte per facilitarne il trasporto e l'utilizzo anche attraverso i droni. Attualmente l'unico ostacolo ad un utilizzo a larga scala è l'elevato costo dei sensori.

Fig. 3.4 – *Laser scanner per UAV che utilizzano tecniche range-based.*

Le tecniche image-based si basano invece sulla quantità di luce presente nell'ambiente per acquisire immagini da cui derivare informazioni tridimensionali del contesto di indagine. La fotogrammetria è tra tali tecniche quella più conosciuta ed utilizzata per rilievi cartografici, architettonici, industriali e archeologici. Attualmente la fotogrammetria tradizionale, sia aerea che terrestre, necessita di apparecchiature dai costi molto elevati e di procedure che hanno un approccio teorico e pratico notevolmente complesso. La moderna derivazione della fotogrammetria può essere considerata la Structure from Motion (SfM), una tecnica che ha come scopo primario l'automazione dell'intero processo di elaborazione delle immagini poiché differisce sostanzialmente dalla fotogrammetria convenzionale in quanto non prevede alcun intervento umano nel processo. Volendo specificare meglio questo concetto

fondamentale della nuova frontiera del rilievo tridimensionale attraverso UAV, è corretto affermare che la tecnica image-based moderna che prevede l'utilizzo di droni è una fusione dei due metodi, quello fotogrammetrico e quello della SfM. Una definizione classica di fotogrammetria è quella che la descrive come la tecnica di rilevamento che consente di ottenere informazioni metriche (forma e posizione) di oggetti tridimensionali mediante interpretazione e misura di immagini fotografiche (almeno due immagini). Nel rilievo fotogrammetrico si riconoscono sempre le seguenti fasi:

• *acquisizione:* operazioni riguardanti la presa delle immagini fotografiche, effettuate con opportune macchine fotografiche, dette camere, e opportune tecniche;

• *orientamento:* operazioni preliminari per la determinazione dei parametri che consentono di posizionare i centri di presa e le lastre con la stessa posizione nello spazio che avevano al momento della presa, quindi la ricostruzione della forma e delle dimensioni dell'oggetto ripreso;

• *restituzione:* operazioni che consentono di effettuare misure sul modello dell'oggetto ricostruito, utilizzando strumenti detti restitutori, in grado di produrre, come risultato finale, un disegno, un insieme numerico di coordinate o una immagine raddrizzata.

Da un punto di vista topografico della rappresentazione, la fotogrammetria serve per passare da prospettive centrali (rappresentazione legata alle immagini fotografiche) a proiezioni ortogonali.

- Si misurano coordinate 2D di un punto P sulle immagini
- Si ottengono coordinate 3D di quel punto Xp, Xp, Zp
- Si ottengono parametri per la valutazione dell'incertezza del punto P
- Si appoggia a un rilievo topografico

I moderni UAV sono dotati di un apparato in grado di ricevere oltre alla costellazione di 27 satelliti GPS (USA) anche la costellazione di 24 satelliti GLONASS (Russa), sommando di fatto il numero di satelliti visibili disponibili e conseguentemente in grado di aumentare la precisione e ridurre i tempi di acquisizione. Ne consegue che il prodotto principale di una "presa fotogrammetrica" consiste in una serie di immagini aventi una certa direzione, un valore di sovrapposizione longitudinale (overlap) e laterale (overside), e una coordinata associata al centro della foto. Ciò

permette ai software specifici di ricostruire tridimensionalmente i piani di volo programmati.

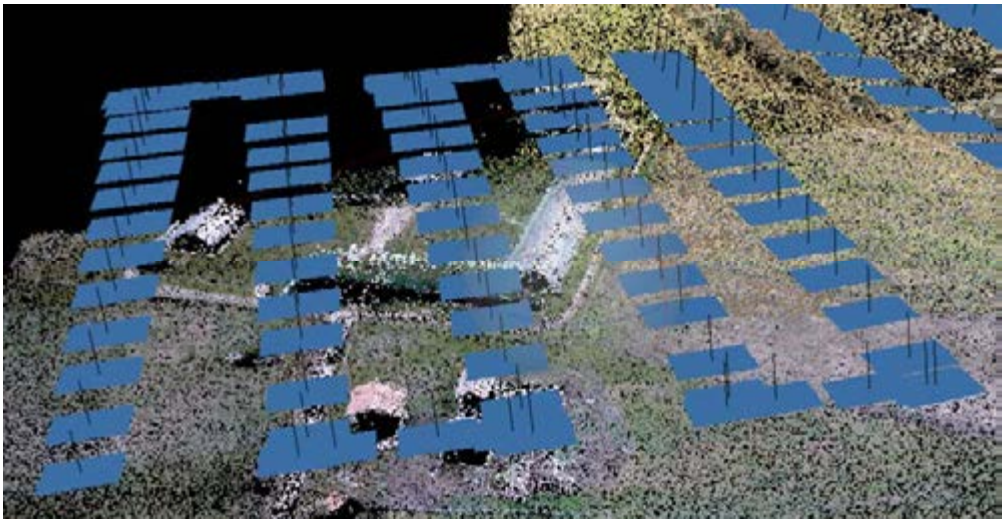


Fig. 3.5 – *Allineamento delle foto acquisite tramite UAV lungo la strisciata.*

Le foto catturate durante una missione risultano perfettamente allineate lungo la strisciata effettuata dal drone (Fig. 3.5). A questo punto entrano in gioco gli algoritmi di computer vision. Mentre la fotogrammetria tradizionale utilizza i dati GPS delle immagini o di punti di controllo di coordinate note (GCP o Ground Control Point), la tecnica SfM si basa sull'individuazione automatica di punti chiave (features) ben riconoscibili in tre o più immagini, che servono per creare corrispondenze tra le immagini e collegarle tra loro (image matching). Per SfM si intende una tecnica di calcolo che permette di ricostruire la forma degli oggetti attraverso la collimazione automatica di punti (punti chiave o tie points) da un insieme di foto, ovvero la ricostruzione di oggetti tridimensionali partendo da punti estrapolati da immagini bidimensionali. Questa si fonda sull'utilizzo di algoritmi della computer vision e consente di estrarre punti da immagini attraverso parametri fotografici: lunghezza focale, dimensioni del sensore, distorsioni e pixel. La fase di acquisizione è fondamentale e utilizza il principio per il quale un punto può essere collocato nello spazio tridimensionale solo se compare in almeno tre immagini. A differenza delle tecniche fotogrammetriche tradizionali, che richiedono l'utilizzo di una fotocamera calibrata o di una camera fotogrammetrica, per la SfM si può usare una qualsiasi fotocamera, di cui è necessario conoscere solo alcuni parametri, purché si rilevi direttamente sull'oggetto o nell'ambiente una misura che possa servire per il

dimensionamento della nuvola di punti. Normalmente le immagini vengono scattate a mano libera e non su un asse fisso come avviene per i modelli stereo. In questo caso, fondendosi le tecniche, si possono avere prese diverse in funzione del tipo di rilievo che si ha necessità di effettuare (mappatura 2D, mappatura 3D o modellazione 3D). In molti casi è possibile utilizzare tecniche miste dove vengono utilizzati sia piani di volo automatici e sia acquisizioni a mano libera (Fig.3.6).

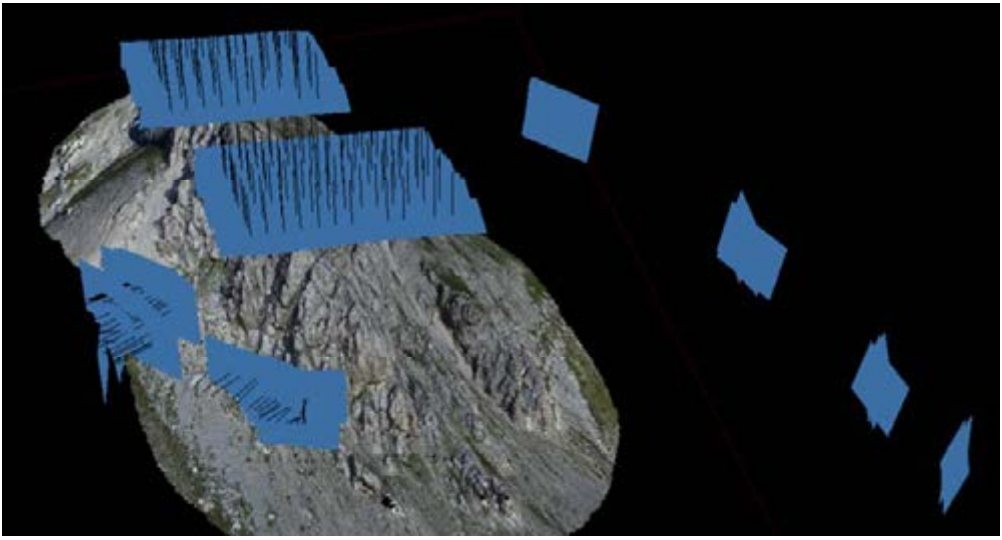


Fig. 3.6 – *Tecnica mista di acquisizione delle immagini.*

Per ottenere le immagini da elaborare possono essere utilizzati dispositivi di natura differente: dalle fotocamere su UAV fino a quelle integrate sugli smartphone o su device. Partendo dai punti chiave, attraverso un procedimento di triangolazione fotogrammetrica a stelle proiettive (bundle adjustement), in maniera automatica viene calibrata la fotocamera e viene ricostruita la posizione di scatto delle singole immagini (orientamento esterno: coordinate dei centri di presa e rotazioni del fotogramma), e per ogni punto chiave vengono ricavate le coordinate reali x,y,z che vengono materializzate tridimensionalmente in una sparse points cloud, cioè in una nuvola di punti a bassa densità. Nel caso di foto georeferenziate come quelle da drone o come quelle da smartphone la posizione di scatto è già nota, di conseguenza anche la points cloud sarà a sua volta georeferenziata. L'utilizzo della memoria durante l'allineamento delle foto dipende principalmente dal numero di queste e non dalla loro risoluzione. L'elaborazione di immagini, a differenza di un rilievo topografico tramite sensori ottici, produce una nuvola di punti che conterrà

l'informazione sul colore poiché i vertici ereditano il colore dei pixel. Una prima rappresentazione tridimensionale dell'oggetto verrà generata attraverso un algoritmo chiamato SIFT (Scale Invariant Feature Transform). Successivamente la sparse points cloud viene densificata aumentando enormemente il numero di punti (dense reconstruction): i dati relativi alla posizione x,y,z dei punti chiave vengono utilizzati come punti di partenza per estendere l'analisi delle immagini alle zone prossimali ai punti chiave e riconoscere ed estrarre la posizione x,y,z degli elementi circostanti. Il risultato finale sarà una dense points cloud, cioè una nuvola di punti densa. Mediamente si passa dall'ordine delle centinaia di migliaia di punti a quello dei milioni (Fig. 3.7).

Fig. 3.7 – *Sparse points cloud, dense points cloud.*

La dense reconstruction è la fase più onerosa in termini di tempo per l'elaborazione della nuvola densa, dalla quale sarà possibile passare da punti a superfici attraverso la costruzione della mesh, una raccolta di vertici, spigoli e facce che definisce la forma di un oggetto poliedrico. Le facce consistono solitamente in triangoli irregolari dal momento che ciò semplifica il rendering, ma possono essere composte anche da poligoni concavi più generici, o poligoni con buchi. La mesh è dunque una primitiva grafica che consente di risolvere con grande efficienza i procedimenti di visualizzazione delle forme modellate. In ambiente GIS questo tipo di superficie viene definita TIN - Triangulated Irregular Network.

Alcuni formati di file che memorizzano informazioni sulle mesh sono i seguenti:

- .blend (Blender file)
- .FBX
- .3DS (Autodesk 3ds Max file)
- .DAE (COLLADA - COLLAborative Design Activity)

- .DXF (AutoCAD DXF - Drawing Interchange Format, or Drawing Exchange Format)
- .OBJ (Wavefront .obj file)
- .PLY
- .STL
- .VMRL
- .X3D
- .C4D
- .OFF

**Texturing**

Il texture mapping in computer grafica è una tecnica che permette di proiettare una o più immagini sulla superficie di un modello 3D, utilizzando le coordinate UV. Una texture è un'immagine bidimensionale in formato raster che viene riprodotta su una o più facce di un modello poligonale tridimensionale (mesh) (Thomas et al., 2007). Una texture map è una matrice bidimensionale di dati indirizzati da due coordinate u e v normalizzati tra 0 ed 1. Il dato contenuto è tipicamente un colore dato che la mappa è una immagine. Più in generale può contenere qualunque tipo di informazione che incide sull'apparenza di una superficie. Dunque la texture map è una tabella ed il texture mapping consiste nel recuperare dalla tabella (lookup) l'informazione che serve per effettuare il rendering di un certo punto. È necessario stabilire una corrispondenza univoca tra la superficie dell'oggetto e la texture. Occorre definire la funzione di parametrizzazione che associa un punto (u, v) della texture ad un punto P della superficie dell'oggetto 3D, che in questo caso si ricorda essere una mesh. Il punto P viene poi mappato dalla proiezione in un punto (xs; ys) dello schermo (Fig. 3.8). Tutte le strategie di mapping comportano trasposizioni tra sistemi di riferimento:

- coordinate di texture: utilizzate per identificare i punti sulla immagine da mappare;
- coordinate parametriche: utilizzate per modellizzare curve e superfici;
- coordinate object o world: dove avviene il mapping (concettualmente);
- coordinate window: dove l'immagine finale è prodotta.

Gli elementi della texture map, sono detti texels o texture elements. La funzione continua T(s,t) descrive la matrice bidimensionale:

- u e v sono le coordinate di texture (normalizzate in [0,1])
- T sono i valori RGB (o altra informazione)

Il mapping avviene definendo una funzione M (parametrizzazione) che associa un punto della texture pT ad un punto della superficie dell'oggetto 3D pO nella sua proiezione sullo schermo pS(xs,ys).

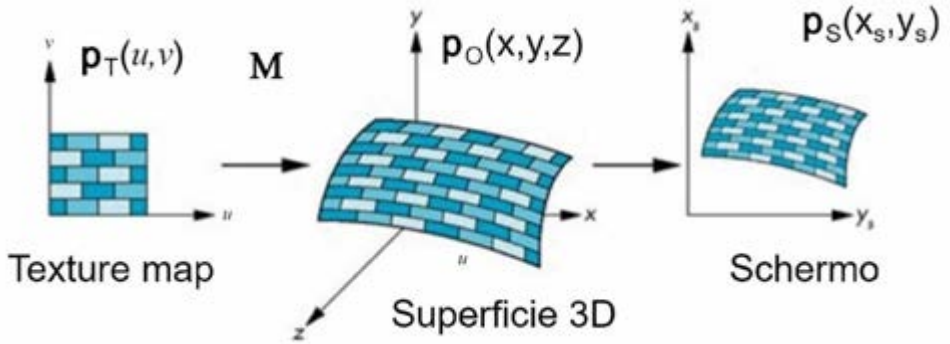



Fig. 3.8 – *Processo di texturing.*

Alla base del texturing vi è la mappa e questa viene generalmente classificata in due categorie distinte: 2D e 3D maps. Il termine mappa in questo volume è generalmente riferito ai prodotti delle elaborazioni fotogrammetriche o GIS, anche se nel caso specifico del presente paragrafo è riferito al raster della texture. Le immagini texture quindi possono essere di vario tipo, da immagini fotografiche digitalizzate a immagini generate in modo procedurale. Le mappe 3D sono esclusivamente di tipo procedurale, calcolate secondo algoritmi che definiscono i colori dell'intero spazio occupato dall'oggetto a cui è assegnato il materiale. Queste speciali mappe definiscono una trama spaziale lungo le tre dimensioni che investe letteralmente l'oggetto, e una sezione del modello così mappato permette di notare come il pattern si distribuisce in maniera omogenea e logica anche all'interno secondo le specifiche proprie della mappa. Le principali mappe tridimensionali permettono di simulare materiali particolari come legno, marmo, liquidi, roccia e altro. Le mappe tridimensionali sono, come già accennato, esclusivamente di tipo procedurale ovvero generate automaticamente da algoritmi dedicati, dunque sono quelle elaborate dai software per la ricostruzione fotogrammetrica con sistemi GIS-UAV. Da questo punto di vista i programmi di modellazione geometrica per l'entertainment

non sono paragonabili a quelli di reverse modelling e di SfM, dato che questi ultimi creano mappature nel sistema di riferimento (u,v) in modo automatico senza rilevanti possibilità di intervento da parte dell'operatore. I programmi per l'entertainment, al contrario, presentano un cospicuo set di strumenti finalizzati al calcolo e all'applicazione delle texture.

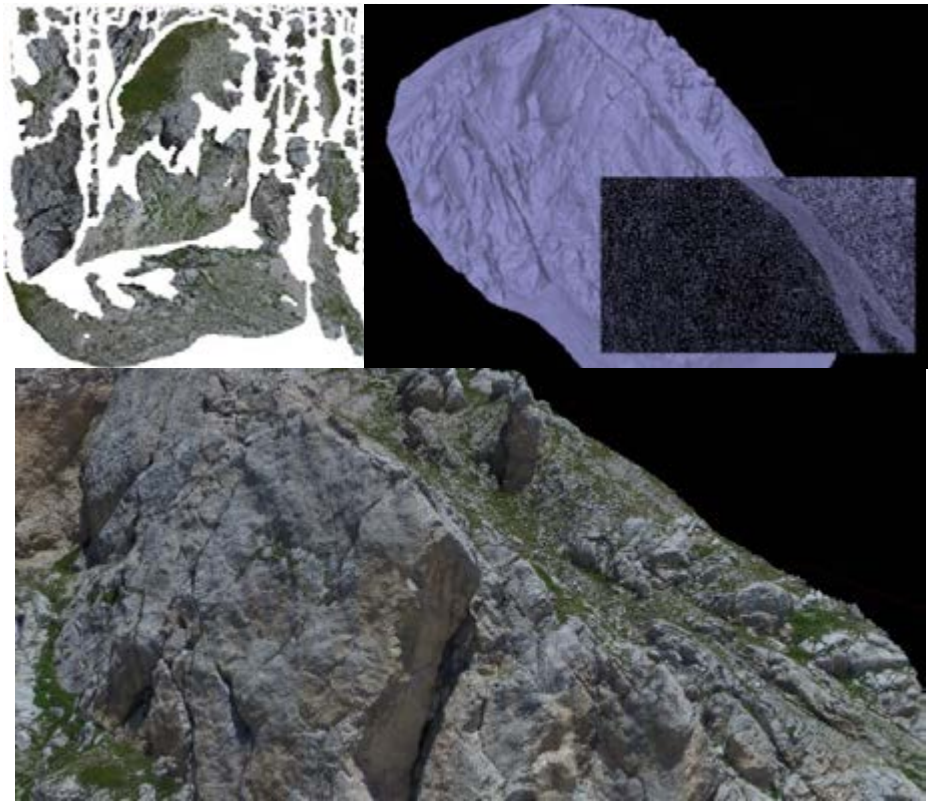


Fig. 3.9 – *Texture, mesh, 3D model.*

Nel processo evolutivo del sistema GIS-UAV si può affermare con estrema sicurezza che la generazione della mesh ed il texturing sono punti nodali di un nuovo modo di interpretare ed utilizzare l'informazione geografica. Se da una parte la risoluzione geometrica di ortofoto e modelli di elevazione del terreno supera con tali sistemi ogni più rosea aspettativa, dall'altra la facilità di realizzazione di scenari tridimensionali di dettaglio amplia il panorama percettivo ed informativo rappresentabile (Fig. 3.9). Dunque l'avvento dei droni nello studio del territorio sta accelerando considerevolmente un processo di integrazione tra l'area progettuale e

quella territoriale. Ne è un esempio lampante la crescente compenetrazione tra fotogrammetria aerea e BIM - Building Information Modeling (Fig. 3.10).

Fig. 3.10 – *Fotogrammetria aerea e BIM - Building Information Modeling. Fonte immagine 3Deffe (http://www.3deffe.com/).*

**Ortofoto e DSM**

Da rilievi eseguiti attraverso queste procedure è possibile elaborare ortofoto e Digital Surface Model (DSM) ad altissima risoluzione che si integrano facilmente in un qualsiasi software GIS. Uno dei prodotti di maggior interesse della fotogrammetria con UAV sono le ortofo, fotografie rettificate e mappe da esse derivate. Queste si ottengono dal processamento di fotogrammi aerei geometricamente corretti e georeferenziati, così da generare un output corretto da un punto di vista metrico. Alle ortofoto vengono associati parametri di georeferenziazione e geocodifica, quindi ne risulta una scala costante per tutta la sua estensione e può essere utilizzabile per effettuare delle operazioni di misura di distanza fra gli oggetti rappresentati, mentre nelle normali foto aeree gli oggetti rappresentati sono a scala variabile in funzione della loro posizione rispetto al centro del fotogramma. Questa deformazione dell'immagine dipende dalla non perpendicolarità dell'asse della camera di presa alla superficie terrestre e dalla

presenza di rilievo topografico sul terreno. Nel caso in cui il terreno sia pianeggiante e la deformazione del fotogramma sia dovuta solo alla non ortogonalità della camera di presa al terreno, il processo di eliminazione di tali deformazioni prende il nome di "proiettivo" ed è disponibile nei principali software nel campo dell'elaborazione delle immagini: Agisoft PhotoScan offre la possibilità in questi casi di texturizzare come "ortofoto adattativa". E' richiesto come dato in ingresso il modello digitale di elevazione (DSM o DTM) dell'area da elaborare. Le ortofoto richiedono fotogrammi originali di buona qualità. Ogni difetto sulla foto originale sarà fedelmente riprodotto sull'ortofoto. Pertanto può essere richiesta un'elaborazione delle immagini mirata alla correzione, fin quanto possibile, dell'errore. In particolare ai fini della generazione di una corretta ortofoto, i fattori concernenti l'immagine digitale di partenza che maggiormente influenzano la qualità del prodotto finale sono la scala dell'immagine e l'intervallo di scansione, ovvero la risoluzione dell'immagine. Le tipologie di modelli digitali di elevazione (DEM) sono DTM e DSM, e si tratta di modelli che descrivono la continuità della superficie terrestre attraverso una quantità finita di punti memorizzati sotto forma di coordinate (X, Y, Z). Il DTM (Digital Terrain Model) riguarda il terreno, ovvero quello che corrisponde all'ultimo ritorno di un rilievo Lidar. La ricostruzione di un DTM permette di eliminare quelle che sono le strutture come edifici e vegetazione e si ottiene mediante algoritmi di interpolazione. Il DSM (Digital Surface Model) rappresenta la superficie visibile, quindi tiene conto delle strutture come la vegetazione, gli edifici e le infrastrutture. E' questo il modello che si produce tramite l'acquisizione fotogrammetrica da UAV, ovvero il modello digitale della superfice viene costruito a partire dalla nuvola di punti. A differenza dei dati acquisiti con laser scanner, si fonda si tecniche image-based, utilizzando una fotocamera come sensore. E' possibile derivare un DTM da un DSM attraverso tecniche di classificazione dei punti e di interpolazione. In particolare da un DEM (DSM o DTM) è possibile derivare i seguenti prodotti:

- *Curve di livello (Contour)*
- *Raster delle pendenze (Slope)*
- *Raster delle esposizioni (Aspect)*
- *Raster dell'illuminazione solare relativa (Hillshade)*
- *Raster dell'intervisibilità (Viewshed)*
- *Calcolo di variazioni di volume (Cut & Fill)*
- *Calcolo di area e volume*

Sia le ortofoto che i DSM generati hanno risoluzioni geometriche molto alte rispetto ai dati forniti dagli enti istituzionali. Infatti attraverso la fotogrammetria aerea da UAV è possibile produrre ortofoto con risoluzione che va da 1 a 5 cm/pixel e DSM

con risoluzione inferiore ai 10 cm/pixel (i valori di risoluzione dipendono dalla quota di volo, cfr. p.60).

## *SCHEDE TEMATICHE*

*Università degli Studi dell'Aquila DICEAA - Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile-Architettura e Ambientale*

*Gruppo di ricerca: Prof. Bernardino Romano, Ph.D. Alessandro Marucci, Ph.D. Francesco Zullo, Ph.D Ciabò Serena, Ph.D Student Fiorini Lorena.*

*Regione Abruzzo - Dipartimento Politiche dello Sviluppo Rurale e della Pesca -*

*DPD024 - Servizio Territoriale per l'Agricoltura Abruzzo Est (Sede Teramo)*

*Ufficio: Autorizzazioni, licenze e verifica danni da fauna selvatica (sede Penne Atri)*

*Riserva Naturale Regionale Lago di Penne – Dir: Di Fabrizio Fernando*

*Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga – Progetto 3D-HRM SUMMIT – Dir: Nicoletti Domenico*

### 1. L' accertamento e la valutazione del danno all'agricoltura da fauna selvatica: nuovo protocollo attraverso tecnologie GIS-UAV.

I danni alle produzioni agricole da fauna selvatica rappresentano una problematica importante sul piano socio economico che da anni interessano il settore agricolo. La valutazione del danno nel contesto della gestione faunistica deve rappresentare il miglior compromesso tra il diritto dell'imprenditore agricolo a veder riconosciuto un equo risarcimento per il danno subito ed un procedimento di stima che sia affidabile. Infatti la procedura di riconoscimento deve tener conto dei necessari livelli di celerità (rispetto dei tempi per lo svolgimento del procedimento amministrativo ai sensi della Legge 241/1990) ed economicità. L'introduzione di sistemi tecnologicamente avanzati nelle fasi di verifica potrebbero produrre vantaggi notevoli sia in termini di accuratezza della "stima" del danno, sia in termini di riduzione dei tempi per l'acquisizione dei dati di campo. I cardini tecnologici sui quali si basa la proposta del presente protocollo sono i sistemi GIS (Geographical Information System) e UAV (Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto). Le moderne tecniche di rilievo tramite droni rappresentano la nuova frontiera delle scienze e dell'ingegneria del territorio. La possibilità di ottenere dati e modelli tridimensionali ad altissima risoluzione (cm/pixel) in tempi notevolmente ridotti apre un nuovo modo di intendere il rilievo territoriale rendendo di fatto i GIS-UAV strumenti indispensabili nei processi di diagnosi e di monitoraggio ambientale. La procedura di "accertamento e valutazione" nel suo complesso è articolata in step sequenziali, attraverso i quali si tende ad arrivare ad una definizione economica del danno subito. Possono essere individuati tre momenti principali del processo quali: l'accertamento, la stima e la perizia. L'accertamento è la fase necessaria all'inquadramento generale del danno che prevede l'acquisizione dei dati generali, la ricerca e identificazione di eventuali

tracce che conducono al riconoscimento di una determinata specie e la valutazione generale della misurabilità del danno (danno presente e misurabile, danno ipotizzato e/o difficilmente misurabile). La stima è la fase di valutazione della qualità e quantità del prodotto perso o danneggiato, la valutazione delle produttività medie ed il confronto con la situazione di riferimento (contesto produttivo locale) e la formulazione di una prima valutazione. E' necessario raccogliere in questa fase gli elementi tanto più oggettivi e misurabili. La perizia è il momento della formalizzazione dell'attribuzione di valore al bene stimato. I dati qualiquantitativi prima assunti generano una scala delle produttività a cui rapportare i prezzi di mercato, desunti da mercuriali o prezziari regionali. L'introduzione di sistemi tecnologicamente avanzati possono incrementare l'efficienza delle fasi di verifica e misurazione del danno attraverso il fast monitoring, una procedura anch'essa in via di sperimentazione che prevede operazioni di controllo e restituzione dati, realizzati e trasmessi in tempo reale, attraverso i quali è possibile avere una descrizione analitica del fenomeno indagato.

***Acquisizione***

Per effettuare l'acquisizione delle immagini nell'esempio mostrato è stata utilizzata Pix4D Capture. Attraverso tali sistemi user friendly è possibile individuare l'area da rilevare attraverso un poligono le cui dimensioni/posizione possono essere modificate. All'interno di questa griglia vengono visualizzate le "strisciate" che il drone effettuerà per coprire l'intera area di interesse oltre che il punto di start e di end della missione.

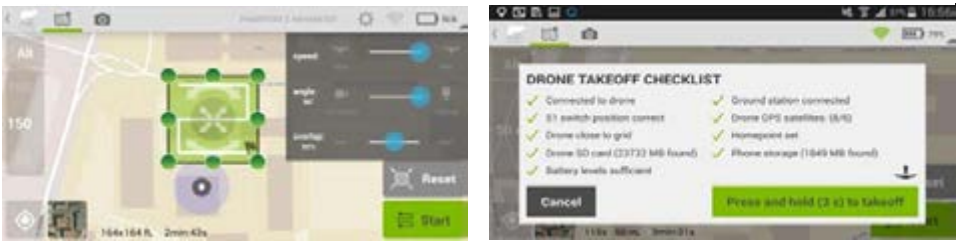


Fig. 3.11 – *Mission planner*

Il numero di strisciate è influenzato sostanzialmente da due parametri: la quota del volo e la percentuale di sovrapposizione tra le stesse (overlap, overside). E' inoltre possibile settare la velocità con la quale il drone effettuerà il rilievo e l'angolo di ripresa della camera. L'acquisizione delle immagini in volo avviene direttamente su una memoria di massa a bordo del drone e, completata la missione, si ha la sincronizzazione con il device che si sta utilizzando. In questo modo è possibile

inviare dal luogo del rilievo, tramite rete dati, le immagini ad un server in remoto. Qualunque sia l'applicativo utilizzato è necessaria una buona connessione alla rete internet in quanto la cartografia di base di questi applicativi è quella di Google Per il rilievo in questione è stato effettuato un volo in modalità automatica ad una quota di 40 m dal suolo, alla massima velocità e con un overlap del 90%. Sono state acquisite 148 foto (Fig. 3.12) in formato jpeg della dimensione di 5MB ognuna.

Fig. 3.12 – *Foto dell'area indagata da UAV*

Il tempo di volo totale per l'operazione è stato di 7 minuti e 30 secondi. Si è scelto di effettuare un solo volo per determinare la massima area rilevabile attraverso i parametri sopracitati.

***Elaborazione***

Acquisito il dato fotografico, questo deve essere elaborato attraverso specifici software o da tools dedicate all'interno di sistemi GIS. Il passaggio dal bidimensionale alla modellazione tridimensionale avviene mediante un workflow tecnico comune a

tutti i software. Ad una prima fase di allineamento delle immagini eseguita attraverso l'elaborazione dei SIFT (Scale Invariant Feature Transform) e dei matches per il calcolo dei punti omologhi tra i fotogrammi acquisiti, segue la ricostruzione automatica della sparse dense cloud, ossia di una nuvola di punti "a bassa densità" ottenuta attraverso la ricostruzione nello spazio dei punti individuati dal sistema per l'orientamento interno ed esterno della fotocamera. Da questa poi, attraverso specifici algoritmi, la nuvola di punti sparsa viene "densificata" per ottenere un modello tridimensionale costituito da milioni di punti, che permette la rappresentazione dell'area studiata nei minimi dettagli. Dalla dense cloud è poi possibile ottenere una serie di prodotti in uscita quali i modelli digitali delle superfici (DSM) e le ortofoto (Fig. 3.13). La possibilità di volare a quote decisamente inferiori rispetto a quelle dei classici sistemi aerofotogrammetrici permette, unitamente alle caratteristiche delle camere montate a bordo, di ottenere delle immagini ad altissima risoluzione geometrica quindi con un Ground Sampling Distance (GSD, dimensione del pixel a terra) dell'ordine del centimetro.

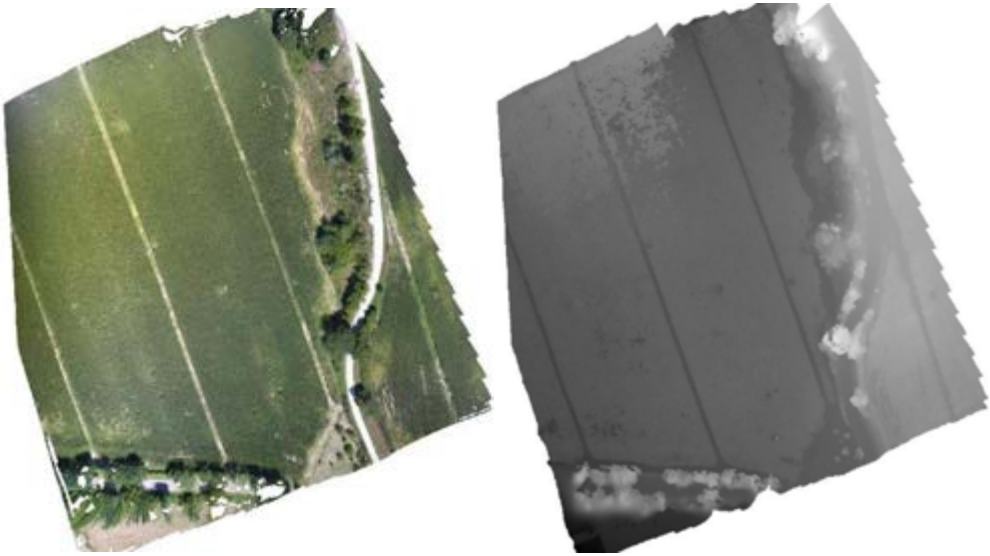


Fig. 3.13 – *Ortofoto (a sx) DSM (a dx)*

Il processo di ricostruzione ha richiesto un tempo di elaborazione di circa 1h e 30 minuti per la generazione degli output (Tab. 3.1). In particolare è stato prodotto un set di dati aventi le caratteristiche riportate in Tabella 1. La superficie totale rilevata attraverso l'UAV è stata di circa 40.000 $m^2$ (Fig. 3.14), dalla quale è stata estratta una superficie utile di 25181 $m^2$ pari all'area interessata dalla coltivazione di granturco.

| Dataset | Points/Faces | Resolution | Time |
|---|---|---|---|
| *Point Cloud* | 79.634 | | 24 minutes 36 seconds |
| *Dense Point Cloud* | 56.640.897 | | 59 minutes 21 seconds |
| *Model* | 2.286.499 | | 2 minutes 5 seconds |
| *DEM* | | 4,03 cm/pix | 43 seconds |
| *Orthomosaic* | | 2,01 cm/pix | 4 minutes 03 seconds |

Tab.3.1 – *Caratteristiche e tempi di elaborazione dei prodotti cartografici del rilievo.*

Fig. 3.14 – *Ortofoto con disegno dell'area di interesse*

***GIS analisys***

Nella formulazione delle fasi della procedura di “accertamento e valutazione”, la stima è sicuramente quella più coinvolta in una valutazione analitica del danno, attraverso la determinazione quantitativa delle superfici interessate e della tipologia e qualità del prodotto. L’utilizzo di basi di dati raster da fotogrammetria UAV permette l’individuazione delle aree colpite e, attraverso un’operazione di fotointerpretazione di dettaglio (risoluzione geometrica dell’ortofoto 2 cm/pixel), la loro vettorializzazione e, di conseguenza, la superficie interessata dal danno. L’analisi in ambiente GIS è fondamentale affinché sia possibile costruire un sistema capace di rilevare l’effettiva entità del danno non basata su una stima “a campione”. Escludendo alcune zone interessate dalla presenza di tralicci, pozzi e viabilità per i mezzi agricoli, è stata realizzata una mappatura delle aree danneggiate.

Fig. 3.15 – *Acquisizione vettoriale delle informazioni di interesse*

| ***Tipologia*** | ***Area (m²)*** | ***%*** |
|---|---|---|
| *Coltivazione* | 24100 | 95,7 |
| *Viabilità* | 1063 | 4,2 |
| *Infrastrutture/pertinenze* | 18 | >0,1 |
| | | |
| ***Tot*** | **25181** | |

Tab.3.2 – *Tabella riassuntiva derivante dall’analisi in ambiente GIS .*

Sono state rilevate nell’area campione circa 27 patches di dimensioni variabili per una superficie complessiva di circa 236 $m^2$, pari allo 0,97% dell’area coltivata. Data la natura della coltivazione (altezza media delle piante 2,5 m circa), è evidente

quanto possa essere difficoltosa e onerosa una stima effettuata da terra dato che presupporrebbe l'attraversamento dell'intero appezzamento ed una misurazione "manuale" delle patches con un notevole dispendio di tempo e di risorse. Inoltre una determinazione basata su metodi "a campione" risulta essere poco attendibile rispetto al dato reale. Sulla base dei risultati ottenuti è possibile fare alcune considerazioni. Analizzando la distribuzione delle patches è evidente come le aree danneggiate si addensino nel margine destro e inferiore dell'appezzamento (Fig. 3.15). Gli ungulati selvatici (in questo caso cinghiali), per l'assenza totale di visibilità data dall'altezza delle colture, potrebbero prediligere zone nelle vicinanze delle fasce boscate in quanto queste rappresentano sia un ricovero sicuro sia una via di fuga/movimentazione preferenziale. La dimensione media delle aree danneggiate, circa 6 $m^2$, potrebbe confermare un comportamento cautelativo rispetto ad un ambiente dove non è possibile scorgere nessun orizzonte libero se non nella fascia perimetrale. Sicuramente un effetto in questo senso lo ha l'utilizzo di dissuasori che vengono impiegati nell'azienda agricola dove è stato effettuato lo studio. Durante il periodo del sopralluogo erano attivi sistemi sonori per l'allontanamento della fauna basati su sistemi ad aria compressa che, ad intervalli regolari (10 – 15 minuti), riproducono colpi d'arma da fuoco (sistema a salve).

**2. Modellazione tridimensionale delle aree sommitali con tecniche GIS-UAV.**

Una interessante applicazione sviluppata attraverso tecniche UAV è la modellazione 3D delle aree sommitali con l'obiettivo principale di rilevare i parametri morfologici, vegetazionali ai fini della prevenzione dei rischi e del monitoraggio ambientale. Si tratta di modelli ad altissima risoluzione (HRM – High Resolution Model) in grado di restituire importanti informazioni che possono poi essere utilizzate in vari settori di interesse da quello turistico a quello ambientale fornendo in tal modo le basi informative necessarie per la conoscenza dei luoghi e delle condizioni morfologiche e vegetazionali in cui si trovano. L'elaborazione dei dati acquisiti tramite UAV restituiscono infatti con precisione le reali condizione della vetta rilevata (Fig. 3.16). Tutta la procedura di acquisizione dei dati è stata condotta utilizzando droni ready to fly low cost (nel caso specifico un multirotore di 1,3 kg) anche per verificare la risposta di questi sistemi in ambiente di alta quota. Le tecniche di rilievo hanno visto sia l'adozione di procedure automatiche attraverso un mission planner ma anche di procedure di volo manuale. Il rilievo in modalità automatica viene sempre eseguito dalla vetta dell'area sommitale da rilevare mentre le attività di volo manuale vengono eseguite da altre aree in funzione della morfologia dei luoghi. Il solo volo su di un piano parallelo al suolo in aree molto articolate da un punto di vista morfologico non è sufficiente da solo a restituire una modellazione completa della

realtà di questi luoghi. E' fondamentale quindi acquisire attraverso dei voli manuali una serie di fotogrammi che integrano i precedenti e che coinvolgono punti di presa posti lateralmente all'area da rilevare. Naturalmente diversa è anche l'inclinazione della camera da ripresa.

Fig. 3.16 – *Fotografia (in alto) e HRM della stessa area tramite acquisizione UAV e processamento fotogrammetrico dei dati.*

Questo non costituisce un problema in quanto, nel momento dell'elaborazione fotogrammetrica, il software è in grado di posizionare correttamente la foto nello spazio grazie alle coordinate del centro e l'orientamento di questa. Le problematiche da affrontare in queste aree impervie sono diverse e presentano diverse criticità. Le

diverse condizioni di pressione influiscono sulla portanza del drone ed hanno un peso anche sulla durata della batteria che diminuisce sensibilmente. Non solo, anche il vento può avere influenze dirette sulla batteria in quanto i motori devono compensare continuamente gli squilibri generati da queste forze. Per tale ragione la durata dei voli per l'acquisizione dei dati non supera in genere i 10 minuti in modo da avere una maggiore sicurezza di rientro del mezzo nel caso in cui si manifestino avarie o condizioni avverse. Inoltre le procedure di take-off e landing richiedono una notevole destrezza di pilotaggio manuale vista l'accidentalità dei luoghi altomontani. I dati così acquisiti possono essere poi utilizzati in molteplici campi di applicazione. Una applicazione interessante in tal senso è lo studio dei fenomeni gravitativi dovuti al dissesto idrogeologico. E' possibile quindi monitorare con frequenze di rilievo molto alte (anche più volte al giorno) gli spostamenti degli ammassi rocciosi e il volume movimentato a seguito di eventi franosi o smottamenti. Possibili applicazioni possono esserci anche nel settore climatico e nivologico. In particolare è possibile rilevare il volume del manto nevoso presente su una determinata area (avendo rilevato precedentemente la stessa area in condizioni normali) e stabilire poi possibili rischi legati alle valanghe anche grazie a sensori per la scansione termica della superficie il tutto in condizioni di massima sicurezza per gli operatori. Attraverso sensori fotografici è infatti possibile determinare modelli DSM (modelli digitali della superficie) del suolo nudo e la successione stratigrafica della neve, mentre attraverso sensori termici è possibile determinare il metamorfismo della neve dovuto al gradiente termico tra la superficie del manto e l'interfaccia neve/suolo.

Fig. 3.17 – *Ricostruzione 3D*

Una ulteriore applicazione deriva dalla possibilità di monitorare lo stato di conservazione degli habitat della rete Natura 2000 presenti in queste aree sommitali. Il livello di dettaglio della cartografia istituzionale e l'estensione ridotta di questi ambienti, rende difficile cartografarli e di conseguenza difficile, se non impossibile, risulta essere il loro monitoraggio.

## 3. Tecniche di analisi e di valutazione di impatto ambientale nelle aree di cava

Le attività estrattive rappresentano una delle attività antropiche più impattanti sul sistema ambientale. I droni possono fornire un contributo assolutamente innovativo nell'analisi e nella valutazione preventiva dell'impatto ambientale, ma anche nel calcolo di precisione dei volumi estratti nelle fasi di coltivazione ai fini della determinazione economica dei diritti di concessione. Le tecniche classiche di rilievo (stazione totale distanziometrica elettronica e GPS di precisione) sono state utilizzate sino ad oggi sia per la fase di progetto sia anche per le valutazioni successive. Si tratta sostanzialmente di un rilievo di precisione di punti quotati all'interno dell'area di cava utilizzati poi per elaborare curve di livello e modelli tridimensionali da utilizzare poi per le successive fasi ed analisi. È ovvio che una procedura del genere comporta un dispendio notevole in termini di tempo, di risorse umane ed economiche. La procedura di acquisizione dati tramite drone risulta essere molto più rapida e con livelli di dettaglio di ordine di grandezza differenti. Di seguito si vogliono quindi evidenziare i vantaggi nell'utilizzo delle tecniche GIS-UAV in questi contesti e dei risultati conseguibili ai fini delle analisi, delle valutazioni e del monitoraggio ambientale. Nella valutazione dei volumi estraibili e della morfologia dell'area oggetto dell'intervento fondamentale è l'utilizzo di un modello di elevazione digitale e, quindi, della risoluzione geometrica del pixel ad esso associato. Più aumenta la risoluzione geometrica del raster, più diminuisce il settore di territorio discretizzato e maggiore è l'accuratezza nel rappresentare, in questo caso, la morfologia di una data superficie. La stessa risoluzione geometrica del dato di partenza incide poi sul livello di dettaglio con il quale vengono condotte le successive analisi. Sono infatti molteplici le informazioni territoriali che possono essere elaborate a partire da un modello di elevazione digitale in ambiente GIS; tra queste ad esempio ci sono le curve di livello fondamentali nella fase di progettazione dell'opera stessa. Il rilievo da UAV permette di ottenere isoipse con equidistanza dell'ordine delle decine di cm a differenza di quelle solitamente disponibili sui geoportali regionali o derivanti da rilievi con tecniche tradizionali che solitamente hanno equidistanze dell'ordine dei metri. Un DEM permette inoltre di derivare tutta una serie di dati ed informazioni spaziali fondamentali per le analisi in un contesto di cava. L'analisi della visibilità, delle linee di deflusso delle acque superficiali, dell'esposizione dei versanti, delle

pendenze o dell'irraggiamento delle aree (Fig. 3.18) rappresentano solo alcune delle possibili analisi che un software GIS è in grado di elaborare a partire da questi dati. Una interessante applicazione in questi contesti è sicuramente il calcolo dei volumi estratti/movimentati all'interno dell'area di cava. Il calcolo volumetrico di un sito di cava è essenziale per la stima del materiale da estrarre, del suo valore economico, delle royalties da conferire all'ente concessionario, nonché per il controllo delle superfici da ripristinare nelle fasi successive all'estrazione.

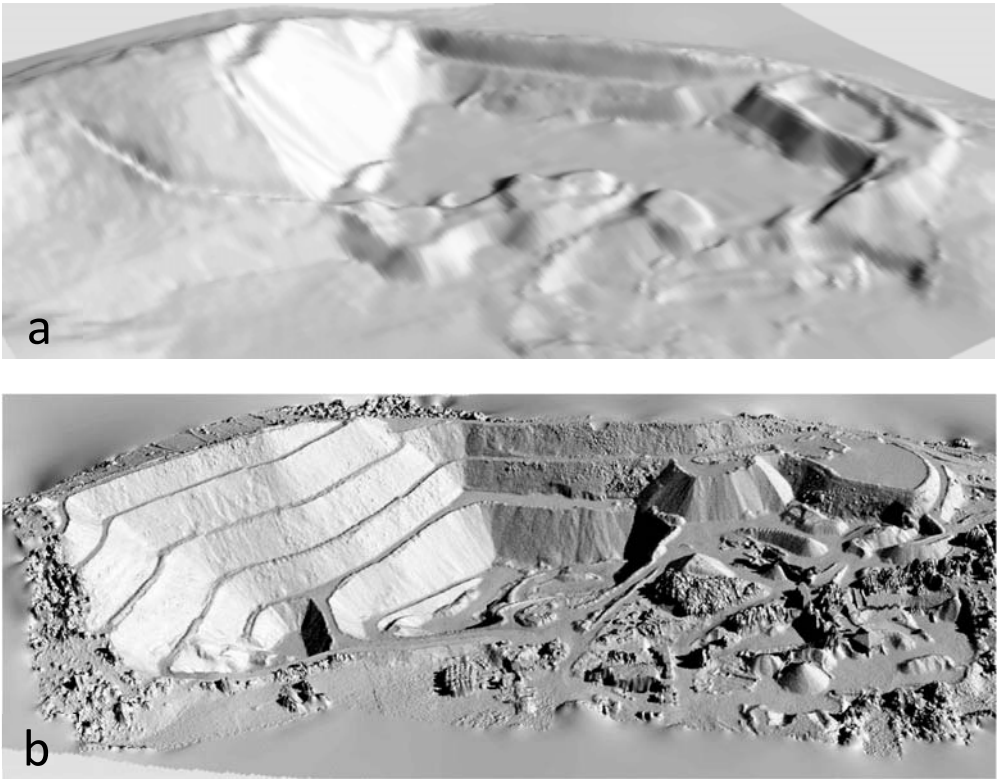



Fig. 3.18 – *Confronto tra hillshade a diversa risoluzione geometrica relativi alla stessa area geografica: a) Hillshade 2 m/pixel; c) Hillshade 0,1 m/pixel*

L'elevata risoluzione dei dati di partenza permette di disporre di una maggiore accuratezza nella fase di calcolo volumetrico e quindi, attraverso rilievi continui nel tempo, monitorare la movimentazione del materiale estratto. L'elaborazione avviene in ambiente GIS e può seguire sostanzialmente due distinti metodi: uno relativo al calcolo diretto del volume, l'altro attraverso il metodo degli sterri e dei

riporti (Cut&Fill method). Il calcolo diretto del volume consiste nello stabilire la quota di un ipotetico piano al di sopra (above) o al di sotto (below) (Fig. 3.19) del quale verrà calcolato il volume relativo all'area di interesse rappresentata da un DEM. La quota del piano di riferimento deve naturalmente essere funzione del metodo scelto e della quota più alta (nel metodo below) e della quota più bassa (nel metodo above) del modello di elevazione digitale. Il metodo degli sterri e dei riporti consente di calcolare le variazioni di volume sia in positivo (riporti o fill) sia in negativo (sterri o cut) avvenuti all'interno di una data area geografica rilevata in due distinte sezioni temporali.

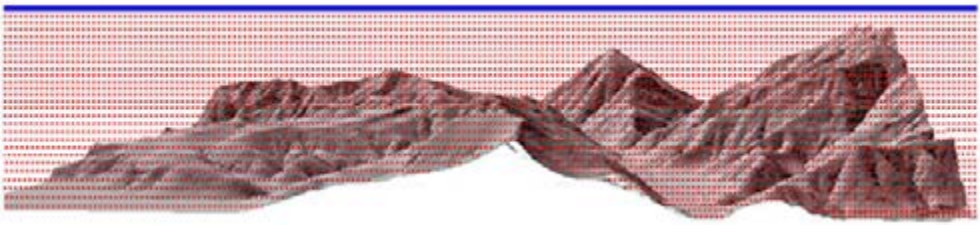


Fig. 3.19 – *Calcolo del volume attraverso il metodo "Below".*

Questo metodo oltre a fornire una indicazione numerica di questi due volumi, unitamente alla differenza dei due, è in grado di mostrare attraverso una opportuna classificazione anche le aree geografiche dove queste variazioni sono effettivamente avvenute (Fig.3.20).

Fig. 3.20 – *Area interessata dallo scavo (a sx) e risultato dell'applicazione del metodo "Cut&Fill" della stessa area.*

Naturalmente il metodo è in grado di rilevare le minime variazioni morfologiche e quindi di volume, per cui per avere un risultato più aderente alla realtà dei cambiamenti avvenuti è opportuno applicare un filtro escludendo le variazioni (sia positive sia negative) al di sotto di un dato valore volumetrico. La corretta applicazione di un metodo di questa natura necessita di una maggiore accuratezza posizionale dei modelli digitali di elevazione rispetto a quella derivata dal sistema di navigazione GNSS montato a bordo del drone. In questo caso è necessario utilizzare dei Ground Control Point (GCP) per migliorare la georeferenziazione dei prodotti in output del rilievo attraverso l'utilizzo di strumentazione GPS di precisione. La possibilità di disporre di questi GCP nel tempo garantisce la stessa accuratezza posizionale dei modelli digitali rilevati nel tempo e migliora l'attendibilità del confronto. Tali GCP vanno disposti in maniera omogenea lungo le aree della cava naturalmente non soggette ad attività di scavo. E' un metodo questo che ben si presta al monitoraggio delle attività estrattive in quanto permette di evidenziare dove avvengono i cambiamenti all'interno dell'area di scavo determinando inoltre la loro entità.

## Bibliografia


Archibugi F., 2003. *Teoria della pianificazione*. Alinea ed., Firenze.

Anuar A., Ashim K.A., Samad A.M., 2010. *Aerial Mapping using High Resolution Digital Camera and Unmanned Aerial Vehicle for Geographical Information System*. Signal Processing and Its Applications (CSPA), 2010 6th International Colloquium on. Pp 1 – 6; ISBN: 978-1-4244-7121-8. DOI: 10.1109/CSPA.2010.5545303

Apvrille L., Tanzi T., Dugelay J.L., 2014. *Autonomous drones for assisting rescue services within the context of natural disasters.* General Assembly and Scientific Symposium (URSI GASS), 2014 XXXIth URSI. Pp: 1 – 4, DOI: 10.1109/URSIGASS.2014.6929384.

Aronoff, S., 1989. *Geographic Information Systems: A Management Perspective.* WDL Publication, Ottawa, Ontario.

Astengo G., Nucci C., 1990. It.Urb. 80. *Rapporto sullo stato dell'urbanizzazione in Italia.* Quaderni di Urbanistica Informazioni, 8.

Beaujardiere de la J., 2006. *OpenGIS® Web Map Server Implementation Specification* (a cura di). Reference number: OGC 06-042, http://www.opengeospatial.org/standards/wms.

Bonora N., Boldrini E., Munafò M., Nativi S., 2013. *L'implementazione tecnica della Direttiva Inspire e del suo recepimento nazionale: l'approccio broker per la condivisione dei metadati*. Geomedia, 1:30-32.

Borri D., Concilio G., Conte E., 1998. *A fuzzy approach for modelling knowledge in environmental systems evaluation*. Computers, Environment and Urban Systems, Volume 22 Issue 3, 1 May 1998, Pages 299–313.

Borruso G., 2010. *Geographical Analysis of Foreign Immigration and Spatial Patterns in Urban Areas: Density Estimation, Spatial Segregation and Diversity Analysis.* Bollettino A.I.C. nr. 136/2010.

Borruso G., 2013. *Cartografia e Informazione Geografica "2.0 e oltre",* Webmapping, WebGIS. Un'introduzione Cartography and Geographic Information "2.0 and Beyond", Webmapping, WebGIS. An introduction. Bollettino A.I.C. nr. 147 / 2013.

Burrough P.A. 1986. *Principles of geographical information systems for land resource assessment*, Clarendon Press, Oxford, U.K, 194pp.

Camacho E.F., 2007. *Model Predictive Control*. Springer 2007

Campos venuti G., 1990. *La terza generazione dell'urbanistica*. F. Angeli, Milano.

Carter, J.R. 1989. *On Defining the Geographic Information System*. In W. J. Ripple (ed.), Fundamentals of Geographic Information Systems: A Compendium. Falls Church, VA: ASPRS/ACSM, 3-7.

Chou T.Y., Yeh M.L., Chen Y.C., Chen Y.H., 2010. *Disaster monitoring and management by the unmanned aerial vehicle technology.* In: Wagner W., Székely, B. (eds.): ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS, Vienna, Austria, July 5–7, 2010, IAPRS, Vol. XXXVIII, Part 7B

Cowen, D.J. 1988. *GIS Versus CAD Versus DBMS: What Are the Differences?* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54:11, 1551-1554.

Department of the environment, 1987. *Handling Geographic Information: Report to the Secretary of State for the Enviroment of the Committee of Enquiry into the Handling of Geographic Inforrnation*, London, HMSO.

Devine H.A., Field R.C. 1986. *The Gist of GIS*. Journal of Forestry, 8, 17-22.

Diamantini C., Geneletti D., 2005. *Un quadro conoscitivo a supporto di decisioni territoriali: il sistema informativo della sensibilità ambientale* in Terre d'Europa e fronti Mediterranei. Il ruolo della pianificazione tra conservazione e trasformazione per il miglioramento della qualità della vita, Milano: SIU, 2005, p. 120-128. Atti di: X Conferenza Nazionale della Societa' Italiana degli Urbanisti, Palermo, 3-4 marzo 2005.

Dueker, K.J., 1979. *Land Resource Information Systems: A Review of Fifteen Years Experience*. Geo-Processing, 1, 105-128.

Eisnor D. 2006. *"Neogeography",* http://www.platial.com, accessed 23rd April 2008.

Fantozzi P.L., 2013. *Georeferenziare dati geografici con ArcGis. Problemi cartografici e metodi di soluzione tramite l'uso di ArcGis 10.1.* Dario Flaccovio Edizioni.

Fiorini L., Zullo F., Ciabò S., Marucci A., Romano B., 2016. *Disperso italiano: appunti di riconfigurazione del dilagamento urbano*. Atti XXXVII Conferenza italiana di Scienze Regionali, Ancona, 20-22 settembre 2016, AISRE.

Frigeri A., 2012. *Software libero, licenze e dati geografici*. In: Casagrande L., Cavallini P., Frigeri A., Furieri A., Marchesini I., Neteler M., 2012 GIS Open Source. GRASS GIS, Quantum GIS e SpatiaLite. Dario Flaccovio Editore.

Fuccella R., 1995. *Elementi di urbanistica*. Alinea, Firenze.

Geneletti D., 2003. *Ecological Evaluation for Environmental Impact Assessment*, in Environmental Impact Assessment Review, 23 (1 2003), p. 137-138.

Gontier M., Mortberg U., Balfors B., 2010. *Comparing GIS-based habitat models for applications in EIA and SEA*. Environmental Impact Assessment Review. Volume 30, Issue 1, January 2010, Pages 8–18. DOI:10.1016/j.eiar.2009.05.003

Goodchild, M. F., 1991*, Keynote address: progress on the GIS research agenda*. Proceedings, EGIS 91, Brussels, pp. 342-350.

Goodchild M. F., 2007. *Citizens as Sensors: The World of Volunteered Geography,* GeoJournal 69(4), pp. 211-221.

Graci G., Pileri P., Sedazzari M., 2008. *GIS e ambiente. Guida all'uso di ArcGIS per l'analisi del territorio e la valutazione ambientale.* Dario Flaccovio Editore. ISBN: 9788877588227.

Gunasekera L., 2014. Use of GIS for environmental impact assessment: an interdisciplinary approach. Volume 29, Issue 1, 2014 Special Issue: Interdisciplinarity: lessons from the social sciences. Pp 37 – 48, DOI:10.1179/030801804225012473

Hudson-Smith, A., Batty, M. And Milton, R. 2008. *The Neogeography of Virtual Cities: Digital Mirrors into a Recursive World*, in M.Foth (Ed), Handbook of Research on Urban Informatics: The Practice and Promise of the Real-Time City, Information Science Reference, Hershey, PA: Information Science Reference, IGI Global.

Hudson-Smith A., Crooks A., 2008. *The Renaissance of Geographic Information: Neogeography, Gaming and Second Life.* UCL Centre for Advanced Spatial Analysis. Working papers series. Paper 142 – Aug 08. ISSN 1467-1298.

Koshkariov, A.V., Tikunov, V.S., and Trofimov A.M. 1989. *The Current State and the Main Trends in the Development of Geographical Information Systems in the USSR.* International Journal of Geographical Information Systems, 3:3, 257-272.

Ozemoy, V.M., Smith, D.R., and Sicherman, A. 1981. *Evaluating Computerized Geographic Information Systems Using Decision Analysis.* Interfaces, 11, 92-98.

Las Casas G.,B., Murgante B., 2004. *The use of fuzzy evaluation in a G.I.S. approach to the land suitability.* Seventh Agile International Conference on Geographical Information Science. 29/04 - 01/05 in Toppen F., Prastacos P.(eds.), Crete University Press.

Landau I.D., Lozano R., M'Saad M., Karimi A.,2011. *Adaptive Control, Communications and Control Engineering*, DOI 10.1007/978-0-85729-664-1_1, Springer-Verlag London Limited.

Mangiameli M., Muscato G., Mussumeci G., Milazzo C., 2013. *A GIS application for UAV flight planning.* IFAC Proceedings Volumes Volume 46, Issue 30, 2013, Pages 147-151 2nd IFAC Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems. doi:10.3182/20131120-3-FR-4045.00025.

Mattiozzi G., Di Donato P., Berardi L., Salvemini M., 2013. La rappresentazione cartografica, Apogeo Editore, 2013. ISBN 9788850313648.

Maza I., Caballero F., Capitàn J., Màrtinez-de-Dios J.R., Ollero A., 2011. *Experimental Results in Multi-UAV Coordination for Disaster Management and Civil Security Applications*. Intell Robot Syst (2011) 61: 563. doi:10.1007/s10846-010-9497-5

McLoughlin B.J., 1973. *La pianificazione urbana e regionale, un approccio sistemico*. Marsilio, Venezia

Mogorovich P., Mussio P. 1988. *Automazione del Sistema Informativo territoriale.* Elaborazione Automatica dei Dati Geografici, Masson, 1988. p.503-8 vol.2

Murgante B., 2008. (a cura di*) L'informazione geografica a supporto della pianificazione territoriale.* Franco Angeli Editore.

Panagiotis P., Vretanos P.A., 2010. *OpenGIS Web Feature Service 2.0 Interface Standard.* Reference number: OGC 09-025r1. http://www.opengeospatial.org/standards/wfs

Parente C., Santamaria R., 2004. *Sistemi Informativi Georiferiti.* Giannini Editore.

Parker H.D.,1988. *The Unique Qualities of a Geographic Information System: A Commentary.* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54:11, 1547-1549.

Peverieri G., 1995. GIS. *Strumenti per la gestione del territorio.* Ed. Il Rostro. ISBN: 887365035X, 9788873650355.

Romano B., De Santis E., Zullo F., 2013. *Bilancio di suolo e aree dismesse: strumenti e criticità urbanistiche.* In: (a cura di): Andrea Filpa, Stefano Lenzi, Riutilizziamo l'Italia: Report 2013. Dal censimento del dismesso scaturisce un patrimonio di idee per il futuro del Belpaese. p. 37-41, ISBN: 9788890662935.

Romano B. 2014. *Pianificazione sostenibile del territorio.* Verdone Editore. ISBN 9788896868270;

Romano B., Zullo F., 2014. *The urban transformation of Italy's Adriatic coastal strip: fifty years of unsustainability*. Journal of Land Use Policy 38:26-36. DOI:10.1016/j.landusepol.2013.10.001.

Romano B., Zullo F., Fiorini L., 2014. *Dati sulla urbanizzazione italiana: verso la terza generazione.* RI-VISTA n00/2014 serie 2 (a cura di Michela Moretti e Ilaria Bulzi), ISSN: 1724-6768.

Romano B. Zullo F., Tamburini G., Fiordigigli V., Fiorini L., 2015. Il riassetto del suolo urbano italiano: questione di "sprinkling"?; Territorio ISSN: 1825-8689. 10.3280/TR2015-074024. Pp 146-153. Franco Angeli Edizioni.

Romano B., Zullo F., 2015. Half a century of urbanisation in Southern European Lowlands: a study on the Po Valley (Northern Italy). Journal of Urban Research and Practice. (ISSN 1753-5069 (Print), 1753-5077 (Online)); Volume 9 N.2 July 2016 pp 109-130 DOI:10.1080/17535069.2015.1077885.

Romano B., Zullo F., Ciabò S., Fiorini L., Marucci A., 2016a. Il modello italiano di dispersione urbana: la sfida dello "sprinkling". Sentieri Urbani n.19/2016 pp 15-22.

Romano B., Zullo F., Fiorini L., Ciabò S., Marucci A., 2016b. Dallo sprawl allo sprinkling. Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici – Edizione 2016. Rapporti 248/2016 ISPRA. Pp 70-73; ISBN 978-88-448-0776-4.

Romano B., Zullo F., Fiorini L., Ciabò S., Marucci A., 2017. Sprinkling: An Approach to Describe Urbanization Dynamics in Italy. Sustainability 2017, 9(1), 97; doi:10.3390/su9010097.

Smith, T.R., Menon, S., Starr, J., and Estes, J. 1987. *Requirements and Principles for the Implementation and Construction of Large-Scale Geographic Information Systems.* International Journal of Geographical Information Systems, 1:1, 13-31.

Suzuki T., Miyoshi D., Meguro J. I., Amano Y., Hashizume T., Sato K., Takiguchi J.I., 2008. *Real-time hazard map generation using small unmanned aerial vehicle*. SICE Annual Conference, 2008. Pp 443 – 446, ISBN: 978-4-907764-29-6. DOI: 10.1109/SICE.2008.4654695.

Thomas D., Orland K., Steinberg S., 2007. The videogame style guide and reference manual (PDF), Power Play Publishing p. 62, ISBN 978-1-4303-1305-2.

Turner A. J. 2006. *Introduction to Neogeography*, O'Reilly Media, ISBN 978-0-596-52995-6.

Vretanos P.A., 2005. *OpenGIS® Web Feature Service Implementation Specification* (a cura di). Reference number: OGC 04-094. http://www.opengeospatial.org/standards/wfs

Whiteside A., Evans J.D., 2008. *OpenGIS® Web Coverage Server Implementation Specification* (a cura di). Reference number: OGC 07-067r5, http://www.opengeospatial.org/projects/groups/wcs.swg

Yastikli, N.; Bagci, I.; Beser, C. 2013. *The Processing of Image Data Collected by Light UAV Systems for GIS Data Capture and Updating.* ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-7/W2, 2013, pp.267-270

Zullo F., 2014. *La conoscenza per le valutazioni. La direttiva INSPIRE sui metadati territoriali.* In: Romano B. "Pianificazione sostenibile del territorio". Verdone Editore. ISBN 9788896868270;

Zullo F., Ciabò S., Fiorini L., Marucci A., Olivieri S., Perazzitti S., Romano B., 2015. *Multilevel planning regional management. A GIS Platform Structure.* Le vie dei mercanti. XIII Forum Internazionale di Studi. Heritage and technology Mind Knowledge Experience. Capri 11 – 13 Giugno 2015. ISBN: 978-88-6542-416-2

Zullo F., 2016. *I Sistemi Informativi Territoriali per la diagnosi ambientale e la pianificazione territoriale*. Cogecstre edizioni ISBN: 978-88-85312-65-4.

Zullo F., Marucci A., Fiorini L., Ciabò S., Romano B., 2016. *New techniques for land surveying, monitoring and environmental diagnosis: a comparative analysis.* Le vie dei mercanti. XIV Forum Internazionale di Studi. Capri 16 – 18 Giugno 2016.

Alessandro Marucci
Via F. Savini n. 27,
67100 L'Aquila, Italy
Mobile: 3465924324
*alessandro.marucci@univaq.it*

Assegnista di ricerca in pianificazione territoriale presso il Dipartimento DICEAA dell'Università di L'Aquila. Laureato in Scienze Ambientali nel 2006 ha conseguito un dottorato di ricerca in Scienze Ambientali sullo "Studio di sostenibilità delle fonti energetiche rinnovabili attraverso il sistema di informazione geografica". È tutor di laboratorio nei corsi di Tecnica Urbanistica e docente nel corso professionalizzante sulle tecniche UAV-GIS per la analisi e diagnosi territoriale e ambientale. Collabora con il Parco Nazionale del Gran Sasso-Monti della Laga e ha coordinato per il Parco Nazionale della Majella e per il Parco Regionale Sirente Velino l'implementazione di database cartografici sui piani di gestione forestale. Ha collaborato con il Centro Ricerche ENEA - Casaccia - ACS per l'analisi dei danni dovuti a fenomeni ambientali incontrollati e del processo di desertificazione. Le sue attività di ricerca hanno prodotto numerose pubblicazioni sull'ingegneria degli indicatori, le tecnologie innovative di monitoraggio ambientale e le procedure di valutazione ambientale.

Francesco Zullo
Dipartimento di Ingegneria Civile,
Edile-Architettura, Ambientale
Università degli Studi dell'Aquila
Via G. Gronchi 18, 67100 L'Aquila
*francesco.zullo@univaq.it*

Dal 2014 è professore a contratto in Sistemi Informativi Territoriali e Valutazione Ambientale nei Corsi di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Biologia Ambientale e Gestione degli Ecosistemi dell'Università degli Studi dell'Aquila e Tutor del laboratorio di Urbanistica nel Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura. É Ph.D. in Scienze Ambientali, la sua attività di ricerca riguarda i temi della pianificazione territoriale, dell'ecologia del paesaggio e dell'uso delle applicazioni GIS nelle scienze del territorio in particolare per lo studio dei cambiamenti di uso del suolo e per l'analisi, la diagnosi e la valutazione ambientale. Ha lavorato per la Regione Umbria e per il Comune dell'Aquila all'implementazione di SIT rispettivamente per la pianificazione delle aree naturali protette regionali e per le analisi preliminari del nuovo PRG. Ha partecipato al gruppo di lavoro per la redazione dei Piani di Ricostruzione di alcuni comuni abruzzesi. E' autore di oltre 50 pubblicazioni scientifiche tra cui 6 dei primi lavori su rivista internazionale inerenti il fenomeno della conversione urbana dei suoli in Italia e di una monografia sull'uso delle tecniche di analisi GIS nei processi di valutazione ambientale e di pianificazione territoriale.

ISBN 978-88-85312-64-7

€ 25,00

9 788885 312647