

CONFRONTO TRA RILIEVO TOPOGRAFICO INTEGRATO CON MISURE GPS E DATI LASER-SCANNING DA AEREO

Camillo BERTI (*), Fabio CAMICIOTTOLI (**), Alberto CASIGLIA (**), Marco REDINI (***),
Luciano SURACE (****)

(*) Università di Firenze, Dip. Studi Storici e Geografici - camilloberti@libero.it; (**) Provincia di Arezzo, Servizio Difesa del Suolo - fcamiciottoli@provincia.arezzo.it, acasiglia@provincia.arezzo.it; (***) Comune di Pisa, Ufficio Urbanistica - m.redini@comune.pisa.it; (****) Istituto Idrografico della Marina, Genova - luciano.surace@libero.it

Riassunto

Scopo del presente lavoro, realizzato nell'ambito dell'attività istituzionale del Servizio Difesa del Suolo della Provincia di Arezzo, è il confronto tra dati altimetrici acquisiti con tecnica laser-scanning da aereo e dati rilevati in campagna con strumenti topografici integrati con misure GPS. L'analisi è stata svolta associando, attraverso funzioni GIS di analisi spaziale tridimensionale, ai dati rilevati a terra le quote acquisite da remote sensing. I risultati confermano, in generale, l'elevata qualità dei modelli digitali basati sul rilievo LIDAR, ma ne mostrano alcuni limiti ai fini della ricostruzione della geometria degli alvei fluviali di dimensioni medio-piccole.

Abstract

Aim of the work, carried out by the Province of Arezzo, is to compare elevation data gathered by airborne laser-scanning sensor and ground survey data (classic topography and GPS). The analysis links, by three-dimensional GIS test, ground captured information and quotas gathered with remote sensing. Results confirm, in general, the high quality of the LIDAR digital elevation models and show some problems for the reconstruction of medium-small dimensions river bed geometry.

Introduzione

Nell'ambito della sua attività istituzionale, il Servizio Difesa del Suolo della Provincia di Arezzo ha acquisito nel corso del 2004 dati altimetrici di dettaglio relativo ai fondovalle di alcuni corsi d'acqua del territorio provinciale, attraverso una campagna di rilevamento condotta con strumentazione laser-scanning aviotrasportata. Scopo del presente lavoro è la verifica della qualità dei dati acquisiti relativamente agli alvei e alle strutture arginali dei corsi d'acqua attraverso il confronto con i dati altimetrici rilevati direttamente in campagna con strumenti topografici tradizionali integrati con misure GPS.

Dati utilizzati

I dati utilizzati per effettuare tale analisi sono stati acquisiti dal Servizio Difesa del Suolo della Provincia di Arezzo con due diverse metodologie:

- Campagna di rilevamento effettuata mediante tecnologia laser-scanning da piattaforma aerea sui fondovalle dei corsi d'acqua principali della Valtiberina Toscana. Il rilievo, affidato - a seguito di un pubblico incanto - alla CGR (*Compagnia Generale di riprese aeree*) di Parma, è stato eseguito nella primavera del 2004. Attraverso l'impiego del sensore Toposys è stato possibile acquisire, come previsto dal capitolato d'appalto, una "nuvola di punti" con densità media 2/3 punti per metro quadrato, dalla quale sono stati ottenuti i Modelli Digitali di Superficie (DSM) e del Terreno (DTM) a maglia quadrata con passo di 2x2 metri. Il DTM è stato generato con algoritmo proprietario, attraverso un filtraggio della "nuvola di punti" nella quale sono contenute le informazioni relative al primo e all'ultimo impulso ricevuti dal

sensore¹.

- Due campagne di rilievi topografici di dettaglio, effettuate integrando tecniche GPS e tradizionali (stazione totale) e rivolte alla definizione della geometria di alcune sezioni trasversali d'alveo nelle aree oggetto del volo laser-scanning. La prima campagna era finalizzata allo studio idraulico per la realizzazione delle mappe di allagabilità delle aree contermini alle aste fluviali² del fiume Tevere e dei suoi principali affluenti (torrenti Cerfone, Niccone, Afra, Sovara). La seconda è stata condotta esclusivamente sul torrente Padonchia (tributario di destra del torrente Cerfone), quale strumento di supporto alla redazione di un progetto esecutivo di riassetto idraulico del tratto di fondo alveo.

Al fine di minimizzare gli scarti tra le due diverse tecniche di rilevamento, dovuti agli errori legati all'inserimento nei sistemi cartografici nazionali di riferimento planimetrico (Gauss-Boaga Roma 40) ed altimetrico (quote ortometriche riferite al mareografo di Genova), sono stati adottati opportuni accorgimenti tecnici atti a favorire l'integrazione tra i due tipi di dati:

- Georeferenziazione nel sistema di riferimento WGS84 rispetto alla stazione permanente GPS di Arezzo, utilizzata come stazione *master*.
- Trasformazione dal sistema WGS84 nel sistema di riferimento cartografico nazionale attraverso l'impiego del software VERTO 2 e dei relativi grigliati dei fogli in scala 1:50.000, prodotti dall'Istituto Geografico Militare.
- Ai soli fini del rilievo in campagna per l'acquisizione delle sezioni idrografiche, l'inquadramento geodetico dei punti di stazionamento della stazione totale è stato definito con tecnica GPS, al fine di rendere omogenei i rilievi di dettaglio al sistema WGS84. Le coordinate di questi punti sono state determinate mediante calcolo differenziale rispetto alla stazione permanente di Arezzo con tempi di acquisizione superiori ad un'ora, che hanno permesso di ottenere precisioni paragonabili a quelle derivanti dall'utilizzo di tre trigonometrici IGM95 locali. Quando particolari condizioni ambientali non hanno permesso l'uso del GPS, le coordinate dei vertici di stazionamento sono state determinate attraverso intersezioni inverse su tre punti (con lettura di angoli e distanze) o tramite poligoni a estremi vincolati rispetto a punti calcolati con le tecniche GPS con le metodologie sopra descritte.

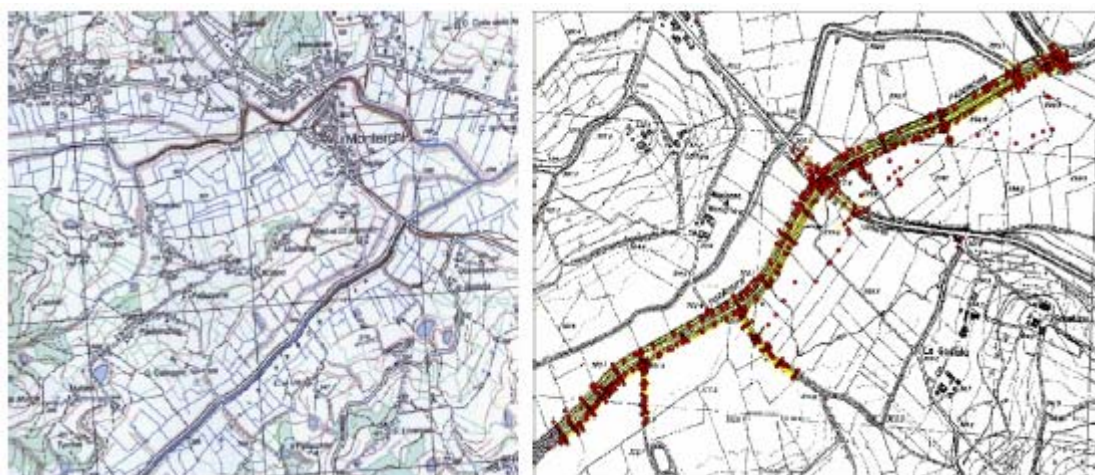


Figura 1. Area oggetto di studio.

¹ Il dato grezzo (nuvola di punti x, y, z rilevati) e gli algoritmi per la produzione del DTM non sono stati resi disponibili dalla ditta proprietaria del sensore.

² I rilievi topografici sono stati eseguiti per conto della Provincia di Arezzo dallo Studio Associato G.E.A. di Saluzzo (CN) e dall'Associazione Professionale GEOSTAFF di Castelfiorentino (FI).

In particolare, il presente lavoro si basa sulle analisi condotte in un'area campione relativa al torrente Padonchia, nei pressi dell'abitato di Monterchi. La scelta dell'area è stata motivata dalla disponibilità, per il tratto di corso d'acqua considerato, di molti dati utili all'estrazione di informazioni morfologiche e perché vi si concentravano le casistiche più significative riscontrate nell'analisi di tutti i dati disponibili.

Procedura adottata

Ai fini del confronto tra dati topografici e dati da laser-scanning, i punti rilevati³ direttamente in campagna, che definiscono i profili delle sezioni fluviali, sono stati trasformati dal formato originale ASCII (comprensivo per ogni punto sia delle informazioni che della qualità di acquisizione) in formato Esri *Shapefile*. Tali punti e le relative quote ortometriche sono stati successivamente messi in correlazione con i Modelli DTM e DSM "ultimo impulso" a passo 2 metri attraverso l'uso di specifici moduli del software Esri ArcGis 9.1.

Anche se gli algoritmi di filtraggio utilizzati per la produzione del DTM sono applicati al dato grezzo della nuvola di punti (comprendente quelli di "primo" e "ultimo" impulso), il confronto è stato tuttavia effettuato tra il dato DTM filtrato e il DSM "ultimo impulso". Infatti, quest'ultimo fornisce, penetrando la vegetazione meno densa, una rappresentazione più fedele della superficie topografica (comprensiva dell'edificato).

L'associazione, ai punti rilevati, della terza dimensione a partire dai modelli DTM e DSM a maglia regolare (in formato ASCII est, nord, quota con coordinate riferite al punto centrale di ogni cella) è stata ottenuta attraverso la costruzione di modelli digitali TIN (*Triangulated Irregular Network*), utilizzando l'estensione *3D Analyst*. Tale scelta ha consentito di attribuire ad ogni singolo punto il valore altimetrico quale media pesata in funzione della distanza (interpolazione lineare) delle quote dei tre punti (centroidi) più vicini. Questo perché l'acquisizione della terza dimensione da un modello digitale di tipo raster presenta l'inconveniente di rappresentare il terreno in modo non continuo, ma discreto; la quota che viene associata al punto è infatti quella relativa alla cella a cui esso appartiene indipendentemente dalla posizione del punto all'interno della cella stessa.

Partendo dallo Shapefile dei punti rilevati topograficamente è stato ottenuto, grazie alle funzioni di analisi spaziale tridimensionale del software GIS utilizzato, un file puntuale contenente i valori altimetrici derivanti dai Modelli Digitali DTM e DSM in formato TIN.

Attributes of sezioni_padonchia_tin						
FID	Shape*	NOME_SEZ	ELEVATION	Z_TIN_DSML	Z_TIN_DTM	
0	Point ZM	PAD 01	321.172	321.143	321.12	
1	Point ZM	PAD 01	322.563	322.636	322.943	
2	Point ZM	PAD 01	322.001	321.846	321.978	
3	Point ZM	PAD 01	322.104	322.087	322.121	
4	Point ZM	PAD 01	322.556	322.548	322.52	
5	Point ZM	PAD 01	322.656	322.739	322.719	

Figura 2 – Shapefile contenente i punti delle sezioni fluviali (ELEVATION: quota rilievo topografico; Z_TIN_DSML: quota derivata da modello DSM "ultimo impulso"; Z_TIN_DTM: quota derivata da modello DTM).

Infine, sono stati prodotti una serie di file in formato ASCII (.sez) che contengono, oltre alle informazioni generali del rilievo e delle caratteristiche topografiche, i seguenti dati: distanza progressiva, quota, n° punto, coord. Est, coord. Nord. Tali file sono stati processati su piattaforma CAD (Autodesk Map 3D 2006) tramite applicativi specifici (.lsp), sviluppati dal Servizio Difesa del Suolo della Provincia di Arezzo, che hanno consentito di ottenere i profili delle sezioni fluviali relativi ai modelli DTM e DSM. Si è potuto quindi procedere alla sovrapposizione, anche grafica, di tali sezioni con quelle realizzate mediante rilievo topografico.

³ Non rientrano tra gli obiettivi del presente contributo le analisi quali-quantitative sui rilievi topografici di campagna, che sono stati comunque effettuati seguendo precise specifiche e collaudati con controlli puntuali a terra dai tecnici del Servizio Difesa del Suolo della Provincia di Arezzo.

Risultati

Le analisi comparative svolte hanno consentito di effettuare alcune valutazioni sulla qualità del dato acquisito con tecnica laser, che sono legate alle caratteristiche fisico-morfologiche delle sezioni trasversali dei corsi d'acqua rilevate con metodi topografici tradizionali. Nel nostro caso, il profilo delle sezioni è composto da tre tipi di andamenti corrispondenti a superfici fisico-morfologiche differenti:

- ✓ regolare priva di vegetazione;
- ✓ irregolare per la presenza di arginature prive di vegetazione;
- ✓ irregolare con presenza di vegetazione sia nelle strutture arginali che all'interno dell'alveo del corso d'acqua.

I punti rilevati che insistono su superfici regolari e prive di vegetazione sono ubicati nelle zone marginali delle sezioni fluviali e ricadono, mediamente, su terreni ad uso agricolo; gli scarti tra le quote rilevate con metodi tradizionali e quelle estrapolate dai modelli digitali con i metodi sopra descritti sono, nella maggioranza dei casi, inferiori a 0,30 metri, in conformità con quanto previsto dal capitolato di appalto per la realizzazione del volo laser (Fig.3). In molti casi, le discordanze sono inferiori a 0,10 metri e, in generale, non si nota una tendenza al miglioramento del dato altimetrico con il passaggio dal DSM "ultimo impulso" (*Diff_1*) acquisito al DTM filtrato (*Diff_2*). Nella tabella sono anche riportati gli scarti ottenuti dal confronto tra le quote del rilievo topografico e quelle ricavate, sugli stessi punti, dal DTM a passo 10x10 prodotto dalla Regione Toscana e derivato dalle fonti altimetriche estrapolate dalle basi cartografiche (*Diff_3*) con scarto medio di circa 2,5 metri.

SEZIONE	punto	Z_RIL Topo	Z_DSM le	Z_DTM	Z_DTM 10	Diff_1	Diff_2	Diff_3
PAD01	34	322,00	321,95	321,98	329,03	-0,05	-0,02	7,03
	1	320,75	320,49	320,59	320,00	-0,26	-0,17	-0,75
PAD02	14	317,63	317,72	317,72	320,00	0,09	0,09	2,37
	57	316,49	316,53	316,14	318,97	0,03	-0,35	2,47
PAD04	1	310,34	310,18	310,16	312,82	-0,16	-0,18	2,48
	30	309,69	309,61	309,74	310,53	-0,08	0,05	0,84
PAD05	28	307,43	307,42	307,40	308,72	-0,01	-0,04	1,29
	1	307,19	307,25	307,29	310,00	0,06	0,10	2,81

Figura 3 - Confronto tra i dati altimetrici di punti isolati (Z_RIL Topo: Quota Rilevata Topograficamente - Z_DSM le: Quota estrapolata dal DSM "ultimo impulso" - Z_DTM: Quota estrapolata dal DTM 2x2 - Z_DTM 10: Quota estrapolata dal DTM 10x10 - Diff_1: Differenza tra Z_DSM le e Z_RIL Topo - Diff_2: Differenza tra Z_DTM e Z_RIL Topo - Diff_3: Differenza tra Z_DTM 10 e Z_RIL Topo).



Figura 4 – Foto aerea coeva al volo laser-scanning (2004) che evidenzia le caratteristiche fisico-morfologiche dell'area in esame.

Le superfici irregolari sono quelle dove si verificano i maggiori scarti tra i dati rilevati e i modelli

digitali laser. Tali differenze sono apprezzabili dal confronto (Fig. 5) tra i perimetri e tra le aree delle sezioni d'alveo. I valori dell'area e del perimetro ottenuti dai modelli digitali risultano sempre inferiori a quelli ottenuti dai rilievi diretti; ciò è imputabile anche al limite insito nella metodologia laser-scanning che non è in grado di penetrare l'acqua. E', quindi, da valutare con molta cautela la possibilità di estrapolare la geometria di alvei fluviali di medie dimensioni per effettuare analisi ambientali e idrauliche. Si nota, infine, che in alcuni casi il dato DSM non filtrato consente una ricostruzione più fedele della morfologia dell'alveo e delle strutture arginali. Infatti, pur essendo presenti importanti discordanze in corrispondenza dei corsi d'acqua tra i dati rilevati e i modelli digitali, si è riscontrato che le quote degli argini sono acquisite con un certo grado di precisione. Tali informazioni possono essere di estrema utilità per le analisi di tipo idraulico, se correlate a elementi definiti planimetricamente nelle varie fonti cartografiche.

SEZIONE	Origine dato	Area sez. alveo	Per. sez. alveo	DIFF_area	DIFF_per
PAD01	RILEVATO	23,06	30,00	-	-
	DSM le	19,07	27,50	3,99	2,50
	DTM filtrato	18,90	28,30	4,16	1,70
PAD02	RILEVATO	23,30	31,30	-	-
	DSM le	11,57	22,30	11,73	9,00
	DTM filtrato	13,36	28,20	9,94	3,10
PAD04	RILEVATO	17,63	24,80	-	-
	DSM le	13,98	24,50	3,65	0,30
	DTM filtrato	14,26	26,50	3,37	-1,70
PAD05	RILEVATO	18,87	25,30	-	-
	DSM le	12,76	28,10	6,11	-2,80
	DTM filtrato	11,46	25,70	7,41	-0,40

Figura 5 - Confronto tra le aree e i perimetri delle sezioni d'alveo rilevati topograficamente e con metodologia laser.

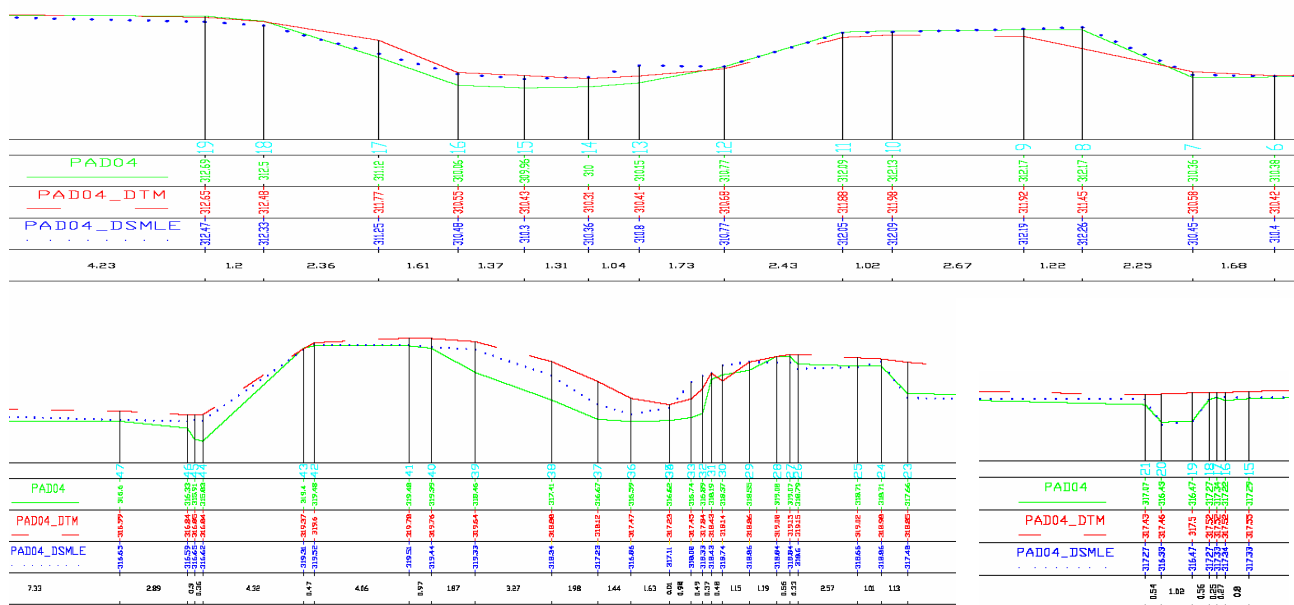


Figura 6 – Rappresentazioni differenze di quota tra rilievi, DTM e DSM lungo sezioni fluviali.

Conclusioni

Lo studio condotto ha evidenziato, in primo luogo, per i tratti fuori alveo (dove non sono presenti dislivelli significativi e vegetazione), la sostanziale concordanza dei valori di quota presenti nel DTM e nel DSM con quelli rilevati in campagna. Il confronto conferma, quindi, l'elevata precisione dei dati acquisiti con tecnologia laser scanning e che le eventuali discordanze, nei tratti in prossimità dei corsi d'acqua, sono dovute al campionamento insito nella costruzione di modelli digitali ra-

ster e all'effetto degli algoritmi di filtraggio utilizzati per la costruzione del DTM.

Dall'analisi del profilo delle sezioni si nota che nel dato "filtrato" (DTM) risulta alterata la forma delle strutture arginali, in corrispondenza delle scarpate o, in generale, dove avvengono bruschi cambi di pendenza nell'arco di pochi metri. Si riscontra talvolta una migliore concordanza del dato non filtrato (DSM) con il rilievo in campagna. E' possibile supporre che le differenze riscontrate tra DTM e DSM dipendano dagli effetti delle filtrature operate sui dati originali e tale considerazione induce a pensare che per la rappresentazione di elementi morfologici di piccole dimensioni (scarpate di argini, fossette) sia necessario l'impiego di un passo di campionamento inferiore ai 2 metri o di un modello di rappresentazione del terreno a maglia non regolare.

Si è inoltre notato che, nei punti caratterizzati dalla presenza di vegetazione densa, l'algoritmo per la produzione del DTM non sempre riesce a operare la filtratura del dato DSM in modo da consentire la ricostruzione della corretta geometria del terreno, dato che i valori altimetrici del DTM e del DSM risultano sostanzialmente omogenei.

Nell'ottica di realizzare modelli idraulici ad elevato grado di dettaglio, fermo restando l'indiscutibile contributo informativo fornito dalla tecnologia laser-scanning, le analisi effettuate hanno mostrato alcuni limiti di tale metodologia nella ricostruzione della geometria degli alvei fluviali di corsi d'acqua medio-piccoli. In questi casi, si è dimostrato che si riescono a modellare con sufficiente accuratezza le quote arginali, mentre risulta piuttosto imprecisa la definizione planimetrica della forma, cioè delle scarpate e delle linee di discontinuità. Pertanto, sarebbe opportuno verificare la possibilità di reperire da altre fonti tali elementi per integrarli ai dati dal laser nelle fasi generazione del DTM o per utilizzarli come strumenti di controllo nelle fasi di filtratura. Concludendo, pur risultando confermata la generale bontà dei dati ottenuti con metodologia laser-scanning, è opportuno sottolineare la necessità dell'integrazione con rilievi condotti con tecniche topografiche di tipo tradizionale per ottenere rappresentazioni quali-quantitative degli alvei fluviali ad elevato grado di dettaglio. Ci sembra auspicabile, inoltre, che sia favorita l'integrazione di informazioni derivanti da fonti diverse e che, specialmente per quanto riguarda i rilievi topografici di dettaglio, vengano regolate le procedure relative, sia ai metodi di produzione del dato (rilievo in campagna, post-elaborazione e restituzione), che di archiviazione e gestione dello stesso, al fine di aumentare la fruibilità delle informazioni prodotte dagli Enti preposti alla gestione del territorio, nello svolgimento delle proprie attività istituzionali.

Riferimenti bibliografici

Camiciottoli F., Redini M., Surace L. (2005), *Tecnologia laser-scanning e rischio idraulico*, Pacini, Pisa.

Camiciottoli F., Radicchi L. (2005), *Disciplinare tecnico. Campagna di rilevamento topografico plano altimetrico per la definizione della geometria di alcune sezioni fluviali, al fine della valutazione del rischio del reticolo secondario del bacino Tevere Toscano*, Provincia di Arezzo - Servizio Difesa del Suolo, Arezzo.

V. Casella, B. Padova, A. Varese (2004), *Filtraggio del DSM prodotto con Laser Scanning e validazione dei risultati*, Atti della 7a Conferenza nazionale ASITA, pp. 1995-2000.

Casella V., Spalla A., Zamponi B. (2001), "Estrazione del DTM di precisione dell'argine di un fiume: fotogrammetria analitica, fotogrammetria digitale e laser scanning a confronto", *Bollettino SIFET*, 2: 193-211.

Grassi S., Radicioni F., Stoppini A. (2001), "Contributi della tecnologia laser scanning per il rilevamento di rischio idrogeologico per gli alvei fluviali", *Bollettino SIFET*, 2.

Maso M. (2003), *Tecniche integrate per la generazione di DTM di alta qualità, campagna 2003 per le misure laserscanning, batimetria multibeam e calcolo del geoide locale nelle tratte delle aste fluviali di competenza dell'autorità di bacino per i fiumi dell'alto Adriatico*, Atti della 6a Conferenza nazionale ASITA.