

STEFANO BERTOCCI MARCO BINI

MANUALE DI RILIEVO ARCHITETTONICO E URBANO

CittòStudi
EDIZIONI

Stefano Bertocci, Marco Bini

Manuale di rilievo architettonico e urbano

CittàStudi
EDIZIONI

Proprietà letteraria riservata
© 2012 De Agostini Scuola SpA – Novara
1ª edizione: aprile 2012
Printed in Italy

Tutti i diritti riservati. Nessuna parte del materiale protetto da questo copyright potrà essere riprodotta in alcuna forma senza l'autorizzazione scritta dell'Editore.

Fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, comma 4, della legge 22 aprile 1941 n.633.

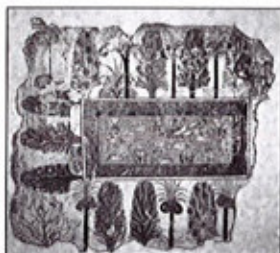
Le riproduzioni ad uso differente da quello personale potranno avvenire, per un numero di pagine non superiore al 15% del presente volume/fascicolo, solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da AIDRO – Corso di Porta Romana, 108 – 20122 Milano – e-mail. segreteria@aidro.org; www.aidro.org.

Stampa: Stamperia Artistica Nazionale, Trofarello (TO)

Ristampe:	0 1	2 3	4 5	6 7	8 9
Anno:	2012	2013	2014	2015	2016

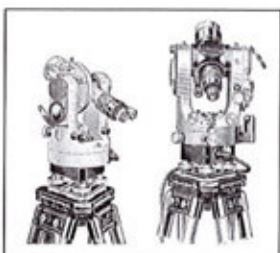
Indice

IX	<i>Premessa</i>
XI	<i>Prefazione</i>
XV	<i>Ringraziamenti</i>
XVI	<i>Crediti testi - Crediti immagini</i>



1 **Capitolo 1 – Introduzione**

- | | | |
|----|-------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 1.1 | Il rilievo dell'architettura: introduzione al quadro scientifico disciplinare |
| 2 | 1.2 | Percezione e disegno |
| 5 | 1.3 | Il segno della memoria |
| 8 | 1.4 | I linguaggi per la rappresentazione dell'architettura |
| | 1.4.1 | Dall'Antichità al Rinascimento, p. 8 |
| | 1.4.2 | L'Età Moderna, p. 13 |
| 22 | 1.5 | Storia degli strumenti di misura utilizzati per il rilevamento |



31 **Capitolo 2 – Le operazioni e gli strumenti per il rilevamento diretto**

- | | | |
|----|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 31 | 2.1 | Il progetto di rilievo |
| 40 | 2.2 | Il rilievo a vista per la lettura delle componenti qualitative del paesaggio e dello spazio costruito |
| | 2.2.1 | Aspetti del rilievo a vista del paesaggio urbano attraverso un approccio visibilista, p.40 |
| | 2.2.2 | Aspetti del rilievo a vista dell'ambiente attraverso approcci grafici di matrice strutturalista, p. 43 |
| | 2.2.3 | Aspetti del rilievo a vista quale momento di sintesi della comprensione del luogo attraverso un approccio fenomenologico, p. 43 |
| 44 | 2.3 | Gli strumenti di misura per il rilievo diretto |
| | 2.3.1 | L'operazione della misura, p. 44 |
| | 2.3.2 | L'incertezza della misura, p. 45 |
| | 2.3.3 | Gli strumenti di misura, p. 45 |
| 49 | 2.4 | L'Arte della misura e la teoria degli errori |
| 53 | 2.5 | Metodi per il rilievo diretto |
| | 2.5.1 | Tracciamento della fondamentale orizzontale, p. 53 |
| | 2.5.2 | Applicazioni del metodo delle coordinate ortogonali: le coltellazioni, p. 55 |
| | 2.5.3 | Applicazioni del metodo delle trilaterazioni, p. 57 |
| | 2.5.4 | Compensazione dell'errore nelle quadrilaterazioni, p. 58 |
| | 2.5.5 | Poligonale esterna, p. 58 |
| | 2.5.6 | Misurazioni progressive e parziali, p. 61 |
| | 2.5.7 | La restituzione del rilievo, p. 62 |
| | 2.5.8 | Scale di rappresentazione, p. 63 |
| 63 | 2.6 | Cenni sui fondamenti geometrici delle metodologie per il rilevamento |
| | 2.6.1 | Coordinate cartesiane, p. 63 |
| | 2.6.2 | Coordinate polari, p. 68 |
| | 2.6.3 | Il metodo dell'intersezione, p. 68 |

- 72 2.7 Applicazioni CAD per la restituzione delle trilaterazioni e quadrilaterazioni
 2.7.1 Trilaterazione, p. 72
 2.7.2 Quadrilaterazione, p. 75



85 **Capitolo 3 – Metodologie e strumenti per il rilievo fotogrammetrico**

- 85 3.1 La prospettiva: strumento di rilievo e realtà virtuale
 3.1.1 La scienza della prospettiva, p. 85
 3.1.2 La prospettiva «inganno degli occhi», p. 90
 95 3.2 La fotografia
 3.2.1 Principi di fotografia e fotografia digitale, p. 95
 103 3.3 I metodi del rilievo fotogrammetrico
 3.3.1 Concetti generali, p. 103
 3.3.2 La stereoscopia e la fotogrammetria convenzionale, p. 106
 3.3.3 Analisi stereoscopica, p. 109
 3.3.4 La fotogrammetria convenzionale stereoscopica, p. 110
 3.3.5 La ripresa fotogrammetrica convenzionale, p. 111
 3.3.6 La restituzione della fotogrammetria convenzionale, p. 112
 3.3.7 La restituzione della fotogrammetria non convenzionale monoscopica, p. 114
 3.3.8 Fotopiano e fotomosaico da fotogrammi isolati, p. 115
 3.3.9 Il metodo grafico, p. 117
 3.3.10 Fotogrammetria elementare come prospettiva inversa. Il caso particolare del quadro verticale, p. 118
 3.3.11 Fotogrammetria elementare come prospettiva inversa. Il caso generico, p. 121
 3.3.12 Il metodo analitico, p. 125



129 **Capitolo 4 – Metodologie e strumenti per il rilievo topografico**

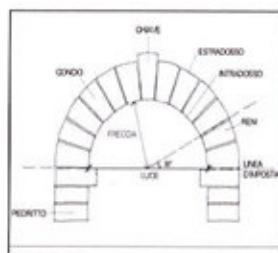
- 129 4.1 Cenni di storia della cartografia
 4.1.1 Il problema della rappresentazione del mondo, p. 129
 144 4.2 La rappresentazione cartografica del territorio e cenni di topografia
 4.2.1 La forma della Terra, p. 144
 4.2.2 Coordinate geografiche, p. 146
 4.2.3 Il rilievo topografico, p. 148
 4.2.4 Le proiezioni cartografiche, p. 154
 4.2.5 I metodi per il rilievo di dettaglio, p. 161
 162 4.3 Applicazioni GPS
 4.3.1 Strumentazioni autonome, per la navigazione personale, con funzioni di tracciamento, p. 163
 4.3.2 Strumentazioni autonome, per il posizionamento con alto livello di precisione, p. 164
 4.3.3 Le strumentazioni GPS integrate ad altri strumenti, p. 165



169 **Capitolo 5 – Rilievo digitale 3D**

- 169 5.1 Le metodologie e le strumentazioni per il rilievo laser scanner
 5.1.1 La corretta «copertura» dell'intero oggetto rilevato, p. 170
 5.1.2 La documentazione dell'intero oggetto rilevato con il giusto livello di dettaglio, p. 175
 5.1.3 Le procedure di acquisizione delle immagini relative all'oggetto rilevato, p. 177
 182 5.2 Tipologie delle strumentazioni per il rilievo digitale
 5.2.1 Strumentazioni che utilizzano sistemi a contatto, p. 182
 5.2.2 Strumentazioni che utilizzano sistemi di misura a distanza, p. 184

- 5.2.3 Strumentazioni che utilizzano sistemi basati su processi di triangolazione, p. 185
- 5.2.4 Strumentazioni che utilizzano sistemi basati sulla presa di immagini, p. 189
- 5.2.5 Strumentazioni che utilizzano sistemi a tempo di volo e variazione di fase, p. 191
- 197 5.3 Dalla nuvola di punti al disegno 2D: la lettura coordinata delle informazioni di rilievo
 - 5.3.1 Il processo di post produzione: le lavorazioni della nuvola di punti per la restituzione grafica, p. 197
 - 5.3.2 Processo di vettorializzazione diretta 2D della nuvola di punti in ambiente CAD, p. 207
 - 5.3.3 La fotografia digitale nella realizzazione degli ortofotopiani calibrati sulle nuvole di punti, p. 211
- 215 5.4 La modellazione digitale 3D
 - 5.4.1 Introduzione, p. 215
 - 5.4.2 Categorie e usi, p. 216
 - 5.4.3 I modelli informatici per il rilievo: obiettivi, p. 218
 - 5.4.4 I modelli matematici, p. 223
 - 5.4.5 I modelli numerici, p. 228
- 232 5.5 La fotomodellazione
 - 5.5.1 Introduzione, p. 232
 - 5.5.2 Aspetti preliminari, p. 233
 - 5.5.3 Fotogrammetria monocamera per restituzione bidimensionale e tridimensionale, p. 234
 - 5.5.4 Obiettivi della fotomodellazione, p. 235
 - 5.5.5 Metodologia, p. 236



241 **Capitolo 6 – Il rilievo degli elementi dell'architettura storica**

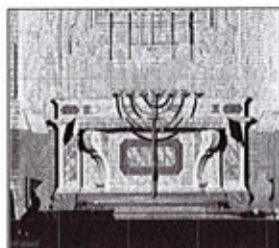
- 241 6.1 Il disegno degli Ordini Architettonici
 - 6.1.1 Gli ordini architettonici come parametro spaziale dell'architettura, p. 241
 - 6.1.2 Il proporzionamento degli ordini architettonici, p. 246
 - 6.1.3 Nomenclatura e caratteristiche degli elementi che costituiscono i principali ordini architettonici, p. 248
- 259 6.2 Il rilievo degli elementi dell'architettura storica
 - 6.2.1 Gli archi, p. 259
 - 6.2.2 Le volte e le cupole, p. 262
 - 6.2.3 I paramenti murari, p. 272
 - 6.2.4 Le scale, p. 278
 - 6.2.5 Le aperture, p. 284
 - 6.2.6 I solai, p. 297
 - 6.2.7 Le coperture, p. 304



317 **Capitolo 7 – Il rilievo come strumento di interpretazione**

- 317 7.1 Rilievo applicato al cantiere di restauro
 - 7.1.1 Il rilievo strutturale, p. 317
 - 7.1.2 Il rilievo del degrado dei materiali, p. 339
- 342 7.2 Il rilievo per l'archeologia
 - 7.2.1 Il rilievo dell'antico e il rilievo per l'archeologia, p. 342
 - 7.2.2 Il rilievo per l'analisi delle strutture di interesse archeologico, p. 349
 - 7.2.3 Il rilievo per l'archeologia: le applicazioni delle tecnologie digitali, p. 358
- 360 7.3 Il rilievo urbano

- 7.3.1 Il rilievo per la lettura del territorio e della città storica: una questione di metodo, p. 360
- 7.3.2 Metodi di indagine della città storica: elementi per la definizione di un programma di intervento, p. 364
- 7.3.3 La strutturazione dei sistemi informativi, p. 366
- 386 7.4 Rilevare il Verde Urbano
 - 7.4.1 Metodologie per il rilievo del verde urbano, p. 386



- 397 **Capitolo 8 – Metodologie di restituzione e gestione dei dati di rilievo con tecnologie digitali**
- 397 8.1 La rappresentazione infografica nei processi di restituzione del rilievo
 - 8.1.1 Premessa alla restituzione dei dati, p. 397
 - 8.1.2 Il disegno tramite programmi di grafica vettoriale (CAD), p. 398
 - 8.1.3 Restituzione dei disegni alle varie scale di rappresentazione, p. 402
- 409 8.2 Modelli e spazi virtuali
- 416 8.3 Questioni fondamentali sulla diffusione e l'integrazione multimediale dei dati derivanti dal rilievo
- 418 8.4 I database e i sistemi di gestione dati georeferenziati GIS, applicazioni per il rilievo e il progetto
 - 8.4.1 Applicazioni GIS per la gestione dati, p. 418
 - 8.4.2 Procedure per lo sviluppo di sistemi GIS, p. 421
- 424 8.5 La disciplina regolamentare del rilievo architettonico e urbano: un aggiornamento
 - 8.5.1 Le fonti normative sul rilievo del costruito, p. 425
 - 8.5.2 Verso il nuovo profilo professionale del Rilevatore del patrimonio architettonico, p. 429
- 433 **Bibliografia**

Crediti testi

I singoli paragrafi sono di:

Stefano Bertocci: 1; 1.1; 1.2; 1.3; 1.4; 1.4.1; 1.5; 2; 2.1; 2.3; 2.3.1; 2.3.2; 2.3.3; 2.5; 2.5.1; 2.5.2; 2.5.3; 2.5.4; 2.5.5; 2.5.6; 2.5.7; 2.5.8; 2.5.9; 2.5.10; 2.6; 2.6.1; 2.6.2; 2.6.3; 3; 3.1; 3.1.1; 3.1.2; 4; 4.1; 6.1; 6.1.1; 6.1.2; 6.1.3 6.2.4; 7.2; 8.1.1 – Marco Bini: *Prefazione*, 1.4.2 – Michele Cornieti: 2.2; 2.2.1; 2.2.2; 2.2.3 – Marco Jaff: 2.4; 3.3; 3.3.1; 3.3.2; 3.3.3; 3.3.4; 3.3.5; 3.3.6; 3.3.7; 3.3.8; 3.3.9; 3.3.10; 3.3.11; 3.3.12; 4.2; 4.2.1; 4.2.2; 4.2.3; 4.2.3; 4.2.4 – Giovanni Anzani: 2.7; 2.7.1; 2.7.2 – Giovanni Pancani: 3.2; 5.3.4 – Giorgio Verdiani: 4.3; 4.3.1; 4.3.2; 4.3.3; 5.1; 5.1.1; 5.1.2; 5.1.3; 5.2; 5.2.1; 5.2.2; 5.2.3; 5.2.4; 5.2.5; 8.2; 8.3 – Sandro Parrinello: 5.3; 5.3.1; 5.3.2; 7.3; 7.4; 8.1.2; 8.1.3; 8.4; 8.4.1; 8.4.2 – Carlo Raffaelli: 5.3.3 – Filippo Fantini: 5.4; 5.4.1; 5.4.2; 5.4.3; 5.4.4; 5.5; 5.5.1; 5.5.2; 5.5.3; 5.5.4; 5.5.5 – Silvia Bertacchi: 6.2.1; 6.2.2; 6.2.6 – Matteo Pasquini: 6.2.3; 6.2.5; 6.2.7 – Giovanni Minutoli: 7.1 – Paola Puma: 8.5; 8.5.1; 8.5.2.

Crediti immagini

Disegni di: Silvia Bertacchi par. 3.3, 6.2.1, 6.2.2; Stefano Bertocci par. 1.1, 1.2, 6.1.1, 6.1.3; Michele Cornieti par. 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3; Sandro Parrinello par. 7.3, 7.4; Matteo Pasquini par. 2.5, 2.6, 4.2. Foto e grafici sono stati inoltre forniti dagli autori dei singoli paragrafi e sottoparagrafi.

Gli elaborati grafici, i disegni e gli esempi riportati sono stati prodotti all'interno di convenzioni, di ricerche e dei corsi istituzionali tenuti dal Prof. Stefano Bertocci (ad esclusione di quelli dei par. 4.3, 5.1, 5.2, 5.4, 5.5, 7.1, 8.2, 8.3). Alcuni di essi sono tratti da tesi di laurea discusse presso la Facoltà di Architettura di Firenze che hanno avuto come relatore il prof. Stefano Bertocci, in particolare le tesi di laurea di: Filippo Bordini pp. 362; 365; 385; Sara Bua e Riccardo Ceccarelli pp. 312; 313; 400; 405; Giacomo Buffoni p. 94; Graziella Del Duca pp. 212; 213; 214; Nicola Fellerini pp. 279, 280; Bruno Grasso p. 354; Barbara Isoletti pp. 314; 315; Marianna Izzo e Margot Lenzi pp. 201; 407; 340; 341; Francesco Matta e Lorenza Racano pp. 206; 207; 208; Valentina Musetti pp. 324; 325; 326; 327; 333; Serena Orlandi e Matteo Pasquini p. 200; Andrea Pagano p. 301; Sandro Parrinello pp. 368; 369; 377; 390; 391; 392; 394; 395; 396; Francesca Picchio pp. 277; 381; Tommaso Rossini pp. 282; 283; Matteo Ragazzini, Mirco Rovini, Matteo Lastrucci, e Alessio Saldi p. 277; Cristina Sassoli p. 382; Daniele Secco pp. 351, 352; Christian Soverini e Michelangelo Tiefenthaler p. 355. Altri ancora sono tratti da tesi di laurea discusse presso la Facoltà di Architettura di Firenze, che hanno avuto come relatore il prof. Silvio Van Riel e correlatore Giovanni Minutoli, ed in particolare le tesi di: Silvia Bertacchi pp. 332; 334; Cristiana Flavia Cannistrà p. 331; Linda Mastroleo pp. 329, 330, 335.

Collaborazione all'editing Sara Bua

posto l'uomo, e che esso perciò è un impedimento per il vero bene dell'umanità»²³.

Il contributo dei teorici del quadraturismo riporta quindi il campo della rappresentazione verso una maggiore attenzione alle caratteristiche fisiologiche della formazione della percezione visiva prestando un rinnovato interesse allo studio di accorgimenti che tengano conto degli aspetti della componente «soggettiva» dell'esperienza dello spazio, tema che troverà fertile campo nello sviluppo delle arti figurative fino al XX secolo. Nel settore della rappresentazione dell'architettura lo straordinario incremento di informazioni e tecnologie digitali pone oggi con urgenza nuove domande alla metodologia della ricerca, alla conoscenza e alla disseminazione della cultura; nello specifico settore del rilievo dobbiamo necessariamente tenere conto oltre alla fase dell'input, la documentazione-acquisizione, anche dell'output, la rappresentazione, che, come abbiamo visto si è sempre dotata di raffinati strumenti teorici e pratici per la comunicazione, e in particolare della comunicazione visiva, problematica ancora di grande attualità. In particolare le tecnologie di acquisizione e rappresentazione tridimensionale quali la computer vision, la fotogrammetria digitale, il laser-scanning, sviluppano informazioni di complessità elevata e i cui codici di rappresentazione sono ancora in divenire e in corso di investigazione da parte della ricerca scientifica di settore.

3.2 La fotografia

3.2.1 Principi di fotografia e fotografia digitale

La fotografia ha ormai varcato frontiere fino a pochi anni orsono inimmaginabili, sia dal punto di vista tecnologico, la dove è comunque facile prevedere essere solo all'inizio di una rivoluzione epocale, sia dal punto di vista del costume che dei comportamenti sociali. Infatti la possibilità di avere sempre a disposizione, nel nostro telefono cellulare, una fotocamera e una telecamera di media qualità, ci consente di documentare ogni sfumatura della nostra vita.

Questa nuova condizione ha profondamente permeato anche i comportamenti del rilevatore che



Fig. 3.13



Fig. 3.14

comunque ha sempre avuto un rapporto particolare con la fotografia, da sempre utilizzata come strumento di documentazione associato al rilievo, ma anche quale strumento di rilievo stesso attraverso la fotogrammetria. Nel rilievo, infatti, si sono moltiplicate le possibilità di documentare ogni singolo elemento e ogni singola fase del lavoro eseguito, realizzando pertanto grandissime quantità di immagini a costi molto contenuti. Tale massa di informazioni, impone comunque la realizzazione di nuovi e accurati sistemi di catalogazione e archiviazione delle immagini. La presenza poi di ottime fotocamere digitali, con definizioni molto elevate, a prezzi mediamente accessibili (figura 3.14), associate a software di fotoraddrizzamento di facile utilizzazione, ha consentito il corrente utilizzo fotogrammetrico di una grande quantità di immagini, anche se queste ultime non sono state specificatamente realizzate per tale uso. Infine con l'utilizzo di supporti hardware e software dedicati si riescono a ottenere anche modelli 3D direttamente da immagini fotografiche (questo argomento è trattato in maniera esauriente nei capitoli seguenti).

In definitiva che cosa è cambiato con l'introduzione del digitale? Sintetizzando, potremmo così definire quanto è avvenuto: è stato «semplicemente» sostituito il supporto di registrazione delle immagini: si è passati dalla pellicola, ai sensori al silicio, lasciando che i supporti emulsionati con sali di argento²⁴ venissero utilizzati solo per alcuni grandi formati o per un impiego riservato agli amanti del genere.

Nella fotografia l'immagine si realizza per mezzo della registrazione di una radiazione²⁵ su di un supporto fotosensibile. Quando questo avviene at-

Fig. 3.13 Cellulari di ultima generazione dotati di fotocamera di almeno 8 megapixel.

Fig. 3.14 Fotocamera reflex digitale con sensore FF da 24 megapixel, con questa fotocamera è possibile ottenere immagini di ottima qualità per essere utilizzate con software di fotogrammetria digitale.

²³ Cfr. H. Pfeiffer S. J., *Pozzo e la spiritualità della Compagnia di Gesù*, in *Andrea Pozzo*, a cura di A. Battisti, Luni Editrice, Milano-Trento, 1996, p. 13.

²⁴ Sali di argento sono comunemente detti i sali di bromuro, cloruro e ioduro di argento.

²⁵ Le radiazioni possono essere nel campo visibile, nel campo infrarosso, ultravioletto, raggi X ecc.

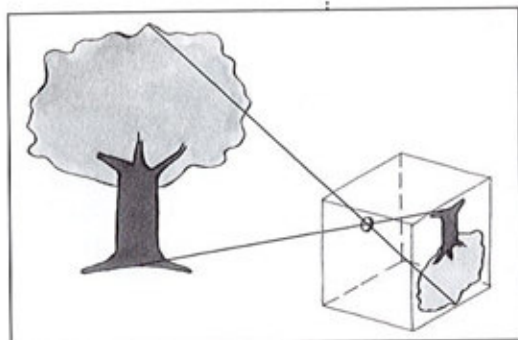


Fig. 3.15

Fig. 3.15 Dall'immagine è facilmente comprensibile come sia possibile realizzare una fotocamera elementare utilizzando semplicemente una scatola, su una cui parete si sia praticato un foro (stenopeico) e sulla parete opposta sia applicato un foglio di fotosensibile.

Fig. 3.16 Tappo stenopeico da applicare su una comune fotocamera con ottica intercambiabile al posto di un comune obiettivo. La fotografia stenopeica conta sempre nuovi appassionati e i produttori si muovono di conseguenza.

Fig. 3.17 Obiettivo normale a focale fissa 50 mm $f/1.4$

Fig. 3.18 In alto otturatore centrale posto all'interno dell'obiettivo, in basso un otturatore a tendina che alloggia all'interno della fotocamera.

²⁶ Tempo di esposizione è il tempo necessario a impressionare il supporto di registrazione, ovvero il tempo necessario affinché avvenga la corretta registrazione dell'immagine sul suddetto supporto.

²⁷ Messa a fuoco di una fotografia.

²⁸ Per piano focale si intende quel piano perpendicolare all'asse ottico sul quale le immagini vanno a fuoco e che coincide con il sensore o la pellicola.



Fig. 3.16



Fig. 3.17

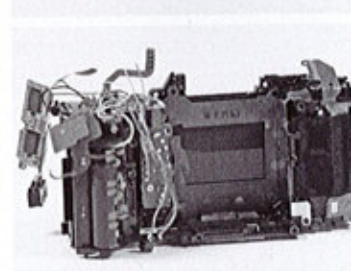


Fig. 3.18

traverso la reazione di sali di argento, spalmati su pellicola o su carta, è detta analogica, ed è quindi realizzata attraverso un processo di tipo chimico. Mentre, quando la registrazione avviene attraverso un «chip», è detta digitale, il sensore infatti è deputato a convertire le onde luminose in cariche elettriche che vengono trasformate in informazioni digitali, attraverso un processo elettrico, pertanto fisico. È questa, in estrema sintesi, la grande differenza fra la fotografia analogica e la fotografia digitale.

Ma andiamo per gradi e vediamo come si ottiene un'immagine fotografica, quali controlli e quali presidi sono necessari per indirizzare la luce verso il nostro supporto di registrazione. In primo luogo è necessaria una scatola (figura 3.15), una camera scura, in cui collocare il supporto di registrazione, che sia pellicola o sensore digitale, poi avremmo bisogno di una lente per indirizzare i raggi di luce verso il nostro supporto, ma è sufficiente anche un semplice foro praticato nella scatola (naturalmente di fronte al supporto di registrazione), affinché la luce penetri all'interno e impressioni il supporto sensibile, il *foro stenopeico*. Ma poiché è necessario ottimizzare le prestazioni sarà opportuno utilizzare una lente, meglio una serie di lenti opportunamente assemblate secondo le necessità di uso, ovvero un obiettivo. Poi è necessario un tappo per chiudere il foro una volta raggiunto il tempo di esposizione²⁶, questo presidio si è evoluto nell'otturatore della fotocamera che consente di controllare le esposizioni in tempi che vanno da millesimi

di secondo a svariati secondi (figura 3.18). Infine abbiamo la possibilità di controllare la quantità di luce che può penetrare nella fotocamera in una determinata quantità di tempo, questo dispositivo si chiama diaframma, è posto all'interno dell'obiettivo e consente di far passare più o meno luce nella stessa quantità di tempo. Le fotocamere debbono essere provviste anche di un sistema di mira per il controllo dell'inquadratura e la messa a fuoco²⁷, questo a seconda delle tipologie di apparecchio può essere posto o su un vetro smerigliato sul piano focale²⁸, o in un comune mirino galileiano o attraverso un mirino reflex, oppure, solo per le fotocamere digitali con un piccolo monitor che riproduce l'immagine catturata dal sensore. Queste sono le parti fondamentali di ogni fotocamera, che sempre più tecnologicamente avanzate e affiancate da altrettanto avanzati componenti e accessori ne facilitano il controllo e l'utilizzazione, migliorandone la resa finale.

Quindi ricapitolando avremmo la fotocamera (contenitore o camera scura), il supporto di registrazione, l'obiettivo (lente o foro stenopeico) che avrà al suo interno anche il diaframma per controllare la quantità di luce passante, l'otturatore che può essere posto all'interno dell'obiettivo o, come nelle moderne reflex e anche nelle compatte, all'in-

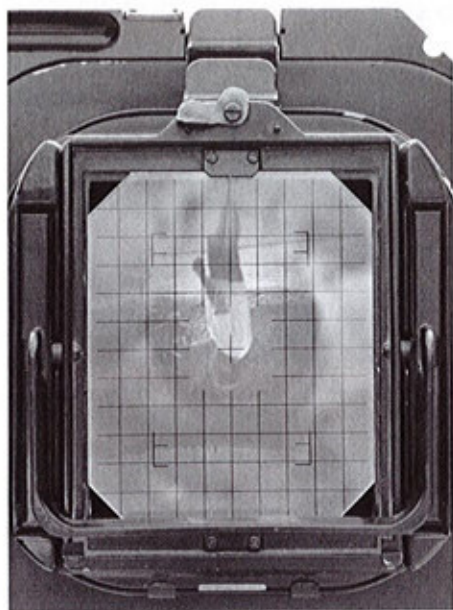


Fig. 3.19

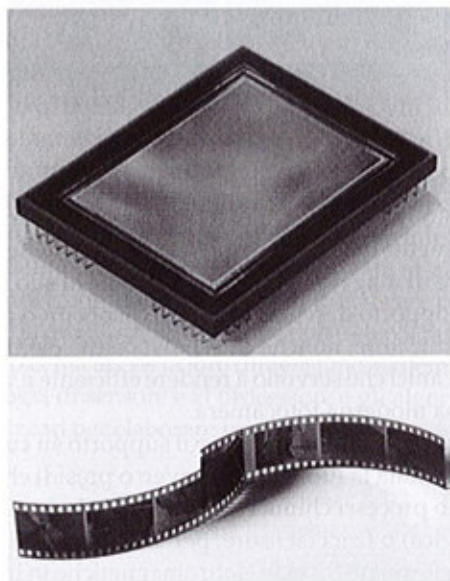


Fig. 3.22

terno della fotocamera, subito prima del supporto di registrazione (pellicola o sensore). Tutti questi componenti possono essere racchiusi in un solo apparecchio, si tratta di fotocamere compatte di gran-

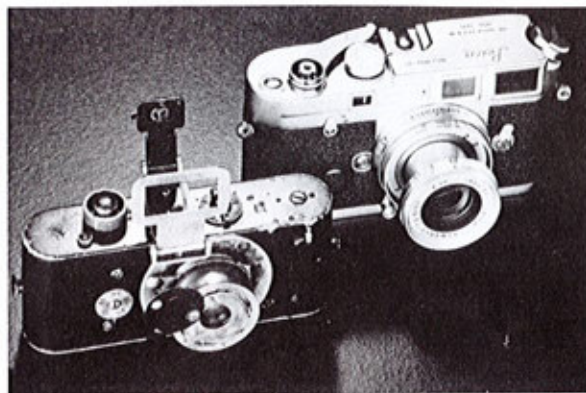


Fig. 3.20



Fig. 3.23

de versatilità ma limitate nelle prestazioni, oppure a seconda dei casi possono trovarsi suddivisi per componenti singole. Per esempio nelle comuni reflex è possibile sostituire gli obiettivi, garantendo la possibilità di utilizzare quello più adatto all'uso. In una fotocamera professionale su banco ottico, ogni componente è intercambiabile, l'obiettivo che porta al suo interno il diaframma e l'otturatore, il supporto di registrazione, che viene sostituito al vetro smerigliato dopo aver effettuato l'inquadratura e la messa a fuoco e può variare nel formato a seconda delle necessità di uso. Ci sono infine fotocamere per usi molto particolari e specializzati, come le camere metriche per la fotogrammetria.

Per realizzare una foto corretta è assolutamente necessario poter controllare e misurare accuratamente la quantità di luce presente sulla scena. Co-

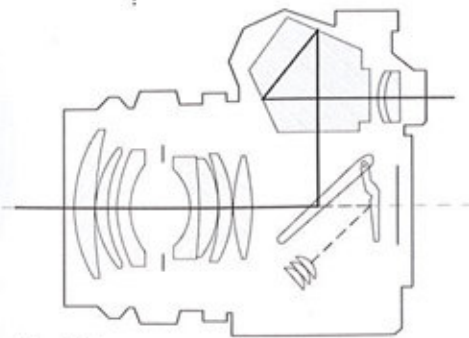


Fig. 3.21

Fig. 3.19 Vetro smerigliato, per la messa a fuoco e il controllo dell'inquadratura di un banco ottico.

Fig. 3.20 Due fotocamere entrambe con mirino galileiano.

Fig. 3.21 Schema di funzionamento di un mirino reflex.

Fig. 3.22 In alto un sensore e in basso una pellicola.

Fig. 3.23 Una fotocamera compatta con obiettivo a focale variabile (zoom).



Fig. 3.24



Fig. 3.25

Fig. 3.24 Banco ottico con i suoi componenti intercambiabili tra loro.

Fig. 3.25 Camera metrica per fotogrammetria.

Fig. 3.26 Esposimetro per la misurazione della luce incidente e della luce riflettente.

Fig. 3.27 Il solo corpo macchina alla quale si possono applicare obiettivi, mirini e dorsi digitali.

Fig. 3.28 Immagini ingrandite di due pellicola nella quale sono visibili i grani di sali d'argento reagenti alla luce.



Fig. 3.26



Fig. 3.28

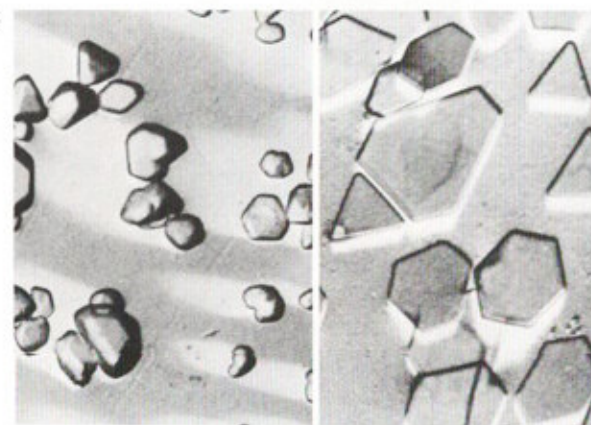


Fig. 3.27



me abbiamo già detto le fotocamere dispongono di presidi per controllare la quantità di luce necessaria, ma è fondamentale conoscere, quindi misurare il grado di illuminazione della scena, pertanto occorre uno strumento a questo dedicato: l'esposimetro. Questo può essere contenuto nel corpo macchina o essere un accessorio esterno, e ci indicherà che accoppiata tempo di esposizione/apertura del diaframma, sarà necessario impostare per eseguire una corretta fotografia.

A seconda delle necessità fotografiche il mercato delle pellicole ha messo a disposizione dei fotografi delle emulsioni in grado di reagire alla luce più o meno velocemente, questa capacità è stata codificata con una scala ISO, considerando il valore di riferimento medio in 100 ISO. Le pellicole prodotte in larga scala dall'industria vanno da 25 a 800/1600 ISO, mentre le fotocamere digitali di ultima generazione vantano sensibilità che vanno da 50 a 102.400 ISO.

Veniamo adesso a una breve analisi dei componenti principali delle fotocamere.

La *camera scura* è semplicemente un tubo o un soffietto a cui si attaccano gli obiettivi da una parte,

il supporto di registrazione e il dispositivo di puntamento dall'altra. Questo componente viene comunemente chiamato corpo macchina, e nelle fotocamere di maggior diffusione contiene al suo interno il supporto di registrazione, il dispositivo di mira, l'otturatore, nonché tutti i dispositivi elettronici e meccanici che servono a rendere efficiente e versatile una moderna fotocamera.

Il *supporto di registrazione* è il supporto su cui viene proiettata la luce e che attraverso presidi che applicano processi chimici (pellicola, per la fotografia analogica) o fisici (sensore, per la fotografia digitale) trasformano le onde elettromagnetiche in immagini fotografiche.

Per quanto attiene alla fotografia analogica, le pellicole o lastre non sono altro che supporti in materiale sintetico su cui sono stati spalmati dei sali di argento reagenti alla luce. La pellicola una volta esposta deve essere sottoposta a un procedimento chimico per sviluppare e fissare l'immagine, che a

questo punto del processo è negativa). Successivamente l'immagine negativa proiettata su carta e a sua volta sviluppata da luogo all'immagine definitiva. Ci sono alcune pellicole con emulsioni particolari che forniscono direttamente l'immagine positiva, questa tipologia è chiamata pellicola invertita ed è comunemente conosciuta come pellicola per diapositive. Altre particolarità dei supporti chimici sono le pellicole autosviluppanti istantanee che consentono di ottenere immagini direttamente su carta in circa un minuto dalla scatto, sono universalmente conosciute come Polaroid dalla casa che nel 1932 ne brevettò il procedimento e le ha prodotte fino al 2008.

Nelle pellicole in bianco e nero è presente un solo strato di grani di bromuro d'argento, che appunto reagisce alla luce²⁹, mentre nelle pellicole a colori sono presenti tre strati di grani, reagenti ognuno a uno dei tre colori primari rosso, verde e blu³⁰.

I sensori digitali hanno rivoluzionato la fotografia andando a sostituire la quasi totalità delle pellicole e lastre presenti sul mercato. Il loro funzionamento si basa sulla capacità di cui dispongono i «fotodiodi» di convertire l'intensità della luce in una carica elettrica di modesta entità. Ogni fotodiodo corrisponde a un elemento di immagine, ovvero un pixel. Ogni sensore per fotografia è formato da un certo numero di pixel, nel numero di qualche milione, a seconda della tipologia di fotocamera utilizzata. Quindi maggiore sarà il numero di pixel presenti sul sensore migliore sarà la definizione delle immagini che sarà in grado di fornire. È comunque necessario specificare che a formare la qualità dell'immagine non è solo il numero dei pixel ma anche la loro dimensione, assieme alla tipologia di sensore e al processore e gli algoritmi che utilizzati per elaborare l'immagine.

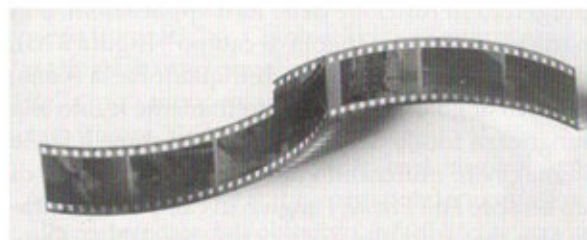


Fig. 3.29

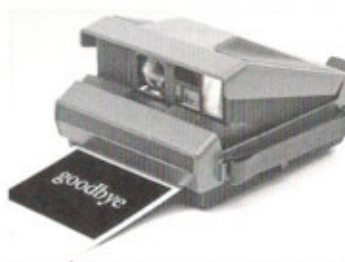


Fig. 3.30

Vediamo come è costruito un sensore: come abbiamo già visto il suo componente principale è il fotodiodo, anzi i fotodiodi, che tutti assieme costituiscono la superficie del sensore. Per indirizzare meglio la luce verso la sua superficie sensibile ogni fotodiodo è provvisto di una microlente. Inoltre nel sensore sono presenti i circuiti elettronici per la trasmissione e la prima elaborazione del segnale. Con questa architettura un sensore sarebbe capace di restituire immagini in bianco e nero, ma non a colori, pertanto anche i sensori hanno necessità di filtrare la luce secondo i colori in cui questa è scomponibile: il rosso, il verde e il blu (Red Green Blue RGB). A tal fine è stato adottato un filtro posto davanti al sensore che dispone di un filtro mosaicato RGB dove sono filtrati con il colore verde il 50% dei pixel e con i colori blu e rosso per il 25% ciascuno, tale filtro è detto filtro Bayer³¹. Ad imitazione delle pellicole a colori, è stato sviluppato un sensore che

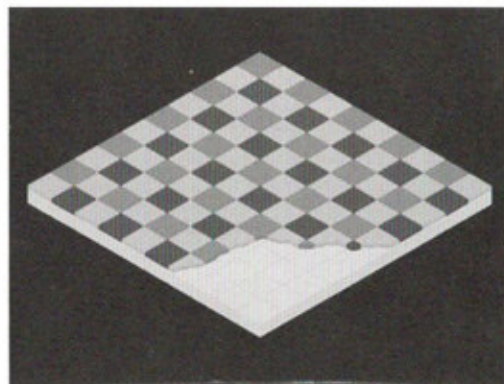


Fig. 3.32

Fig. 3.31

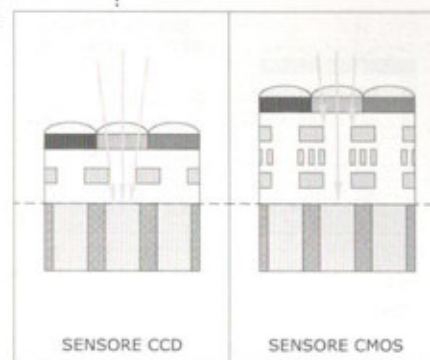


Fig. 3.29 Pellicola negativa.

Fig. 3.30 Una tipica fotocamera e pellicola polaroid.

Fig. 3.31 Schema di sensore CCD e di un sensore CMOS, risulta evidente come il maggiore ingombro dei circuiti del sensore CMOS non permetta alla luce di raggiungere il fotodiodo come invece avviene nel sensore CCD.

Fig. 3.32 Schema di filtro Bayer.

²⁹ Pellicola bianco nero.

³⁰ Pellicola a colori.

³¹ Filtro Bayer, La maggior parte dei sensori usati sulle attuali fotocamere digitali è del tipo CCD o CMOS con tecnologia Bayer, dal nome dello scienziato Bryce Bayer della Kodak che la inventò nel 1976. <https://francesco-photo.wordpress.com/2009/10/12/la-vera-risoluzione-dei-sensori/#more-2326>

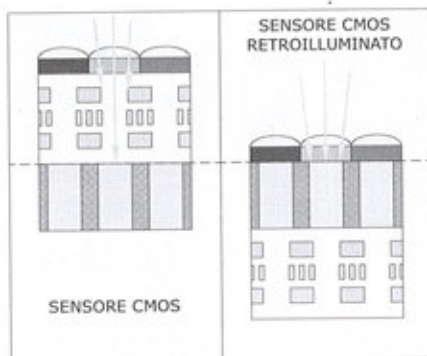


Fig. 3.33

Fig. 3.33 Il confronto tra due sensori CMOS, il primo di tipo tradizionale e il secondo del tipo retro illuminato.

Fig. 3.34 Vari formati di pellicola e sensori a confronto.

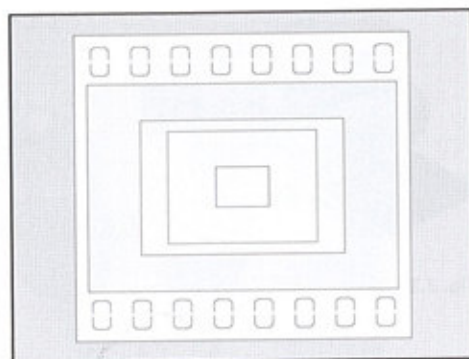


Fig. 3.34

come la pellicola ha sovrapposto tre strati di pixel, il «foveon»³², che riesce a produrre immagini molto definite con estesa gamma dinamica e di grande qualità, ma ha bassa sensibilità ISO e soffre le alte sensibilità.

Il segnale elettrico emesso dal fotodiodo deve comunque essere convertito in immagine, pertanto necessita di essere elaborato. Alcune elaborazioni avvengono direttamente nei circuiti del sensore mentre altre sono effettuate dal processore che governa la fotocamera. A questo fine è opportuno specificare che esistono due tipologie ben distinte di sensori, i CCD (Charge-Coupled Device) e i CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor), la principale caratteristica che li differenzia è che i primi hanno i circuiti di elaborazione a valle del sensore, mentre per i secondi la prima elaborazione del segnale avviene singolarmente per ogni pixel. Ne consegue che i CCD avranno un numero minore di circuiti elettrici al loro interno, mentre i CMOS ne hanno un numero maggiore; è evidente pertanto che la luce dovendo raggiungere l'elemento sensibile del fotodiodo, che è posto sotto i circuiti, risulti maggiormente ostacolata nei sensori CMOS. Per ovviare a questo problema è stata messa a punto una nuova generazione di sensori CMOS nei quali si è riusciti a spostare i circuiti sotto l'elemento sensibile del fotodiodo (figura 3.33). Grazie alla loro possibilità di gestire meglio gli alti ISO, i sensori CMOS, hanno ormai quasi saturato il mercato delle fotocamere reflex e delle compatte, mentre i CCD rimangono ancora leader

del mercato di dorsi digitali e fotocamere di medio formato.

Il segnale ricevuto dal fotodiodo viene amplificato e convertito in codice binario: 1 (acceso), 0 (spento), dove 0 è il nero e 1 il bianco. Ma con una conversione a un bit come quella appena descritta, si perdono tutti gli eventuali toni intermedi, pertanto è necessario un convertitore che permetta di ottenere un maggior numero di toni di grigio: con 4 bit si può disporre di 16 tonalità di grigio, con 8 bit 256 e con 12 bit 4096, quest'ultima rappresenta una scalatura ottimale fra il bianco e il nero, ragion per cui i produttori sono orientati a produrre fotocamere con elaborazioni a 12 e 14 bit.

Infine veniamo ai formati (figura 3.34). È ormai consuetudine ritenere il formato 24×36 mm (formato della pellicola 35 mm) come il *pieno formato* detto anche *Full Frame* abbreviato con l'acronimo FF, oggi considerato come lo standard di riferimento³³, con risoluzioni fino a 24 megapixel. Poi ci sono i sensori per formati più grandi, le fotocamere di medio formato e i banchi ottici, che raggiungono le dimensioni di $53,7 \times 40,4$ mm e risoluzioni fino a 80 megapixel. Il formato che comunque si è apprezzato maggiormente con le reflex digitali, sia per principianti, sia per appassionati evoluti, è il cosiddetto formato APS che corrisponde a circa la metà del pieno formato: APS-C ($23,6 \times 15,6$ mm) APS-H ($22,3 \times 14,9$ mm), mentre un consorzio di produttori Olympus e Panasonic hanno creato un nuovo formato, il 4/3 ($13,0 \times 17,3$ mm). Nelle fotocamere compatte e nei cellulari sono stati realizzati formati molto piccoli che hanno consentito la miniaturizzazione degli apparecchi.

L'obiettivo è il dispositivo che indirizza i raggi di luce verso il supporto di registrazione, quindi sovrintende alla quantità e qualità della luce che colpisce l'elemento sensibile. Gli obiettivi vengono progettati in funzione delle loro applicazioni, e in particolare del loro angolo di campo³⁴ (figura 3.35), ovvero della loro capacità di inquadrare la scena. Inoltre l'angolo di campo è strettamente legato alla lunghezza focale del sensore. Infatti come è facile immaginare utilizzando uno stesso obiettivo su di un sensore *Full Frame*, l'angolo di campo inquadrato sarà maggiore che su di un sensore APS-C. Questo è facilmente verificabile poiché le maggiori case

³² Foveon è la compagnia che produce e sviluppa questo tipo molto speciale di sensore fotografico che attualmente viene montato su fotocamere Sigma.

³³ Formato a oggi utilizzato soprattutto per apparecchi professionali.

³⁴ G. Forti, *Fotografia Teoria e pratica della reflex*, Editrice reflex, Roma, 2006, p. 79: «l'angolo di campo e l'angolo di buona definizione, il primo indica l'angolo che l'obiettivo regolato su infinito è capace di abbracciare..., il secondo... il cerchio di copertura utile dell'obiettivo, cioè quell'immagine circolare che l'obiettivo proietta sul piano focale la cui circonferenza deve avere un diametro superiore alla diagonale del fotogramma».

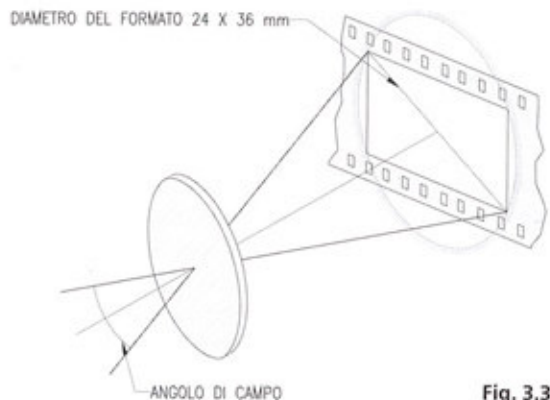


Fig. 3.35

produttrici di fotocamere (Canon, Nikon e Sony) utilizzano lo stesso attacco sia per apparecchi FF che APS-C e nelle specifiche delle ottiche si possono vedere le variazioni dell'angolo di campo che ogni obiettivo ha sui due formati. Per inciso diremo che il fattore di moltiplicazione fra FF e APS-C è di 1,5; ovvero un obiettivo 50 mm su FF corrisponde a 75 mm su APS-C.

La focale³⁵ (figura 3.36) di un obiettivo si calcola valutando la distanza fra il centro nodale posteriore e il piano focale, quando per piano focale si intende quel piano perpendicolare all'asse ottico sul quale le immagini vanno a fuoco e che coincide con il sensore o la pellicola. Le focali minori corrispondono a obiettivi con grande angolo di campo e basso fattore di ingrandimento; detti anche grandangolari, hanno una resa con fughe prospettiche esasperate e spesso vi si riscontrano distorsioni a barilotto (figura 3.37) ma sono di solito quelli più utilizzati per l'architettura. Le focali maggiori sono quelle con piccoli angoli di campo e alto fattore di ingrandimento, sono comunemente dette teleobiettivi ed hanno linee prospettiche che tendono al parallelismo e distorsioni ottiche più contenute a cuscinetto (figura 3.38). Gli obiettivi detti comunemente normali, hanno angoli che si avvicinano a quelli della vista monoculare e fughe prospettiche moderate (figura 3.39).

È interessante sapere che le focali degli obiettivi sono nominali e che non corrispondono quasi mai alla reale focale dell'obiettivo, infatti le case produttrici si concedono una tolleranza che negli obiettivi

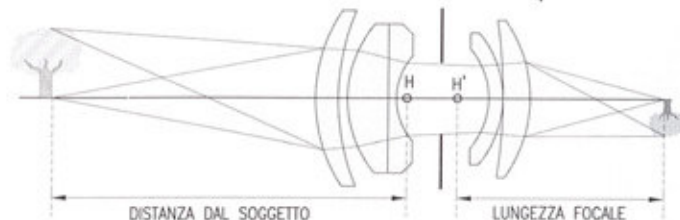


Fig. 3.36

Fig. 3.35 Rappresentazione dell'angolo di campo di un obiettivo.

Fig. 3.36 Rappresentazione della lunghezza focale di un obiettivo.

Fig. 3.37 In questa immagine scattata con un con un obiettivo grandangolare da 12 mm, le fughe prospettiche sono esasperate; anche se è stato progettato per contenere le distorsioni a barilotto queste cominciano tuttavia a comparire in alcuni particolari come, ad esempio, nel tetto del campanile.

Fig. 3.38 In questa immagine ripresa con un teleobiettivo da 400 mm le fughe prospettiche tendono all'infinito, ma compare qualche lievissima distorsione a cuscinetto come, per esempio, sui fianchi dell'abside.

Fig. 3.39 Questa immagine scattata con un obiettivo normale da 50 mm; la percezione è molto simile a quella che si ha con l'occhio umano.



Fig. 3.37



Fig. 3.38



Fig. 3.39

³⁵ G. Forti, *Fotografia*, cit., p. 77: «la focale di un obiettivo è data dalla distanza esistente fra l'obiettivo e il piano sul quale gli oggetti posti all'infinito (fotograficamente parlando oltre le 30-40 lunghezze focali) vanno a fuoco. Più precisamente, occorrerebbe parlare di distanza tra il punto nodale posteriore e il piano focale. Questo punto, che si trova generalmente nei pressi del diaframma, è quello nel quale il prolungamento del raggio che esce dalla lente posteriore dell'obiettivo interseca l'asse ottico. Allo stesso modo, si parla di punto nodale anteriore come del punto di intersecazione tra l'asse ottico e il prolungamento del raggio incidente».



Fig. 3.40

Fig. 3.40 Due obiettivi a fuoco variabile zoom.

Fig. 3.41 Schema che illustra come, al variare delle aperture del diaframma, varia la profondità di campo.

Fig. 3.42 Nell'immagine un obiettivo grandangolare da 28 mm decentrabile, in basso a sinistra si notano la manopola e la scala millimetrata per il controllo del decentramento.

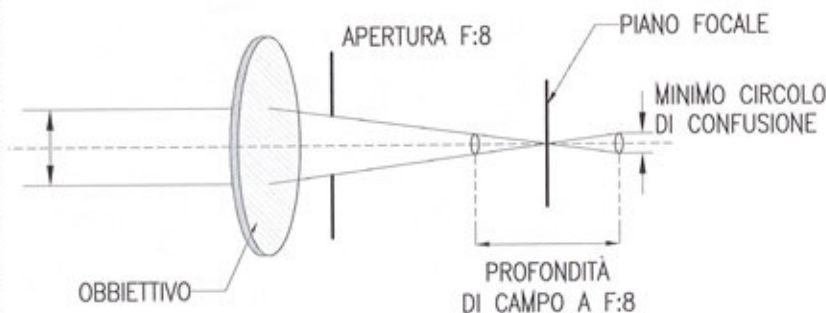
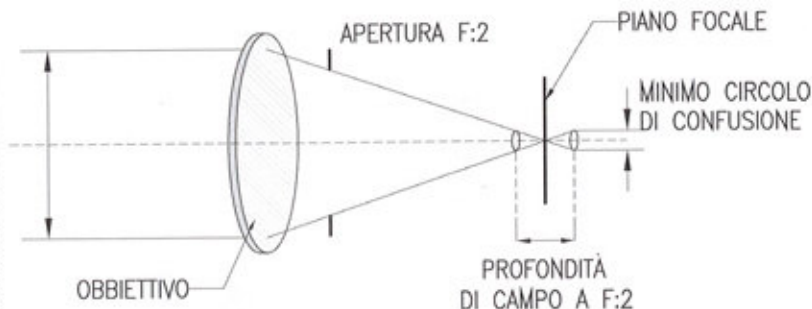


Fig. 3.41



Fig. 3.42

³⁶ G. Forti, *Fotografia*, cit., pp. 117: «l'ampiezza della profondità di campo varia a seconda dell'obiettivo, dell'apertura di diaframma e della distanza di ripresa. ...In altre parole i limiti della profondità di campo derivano da un criterio soggettivo che consiste nello stabilire la dimensione del cerchio di confusione... (si intende per cerchio di confusione il più piccolo cerchio che l'occhio non è più capace di distinguere da un punto); la profondità di campo, di conseguenza, si definisce come la distanza che intercorre tra l'oggetto più vicino e quello più lontano i cui punti sul piano focale (e quindi sulla pellicola) siano almeno pari o inferiori al cerchio di confusione».

³⁷ Si ringrazia per la gentile concessione del materiale fotografico il laboratorio New Spr di Sesto Fiorentino e il fotografo Giusti di Listra a Signa.

fissi può arrivare a circa il 5% mentre negli zoom raggiunge anche il 10%.

La moderna tecnologia ottica ha consentito di progettare obiettivi con lunghezza focale variabile, gli *Zoom* (figura 3.40): grazie a questi obiettivi è possibile utilizzare più focali senza cambiare ottica, questa possibilità è stata molto gradita dai fotografi, anche se si è dovuto pagare pegno alla luminosità e alla qualità. Ciò ha comunque garantito il successo delle compatte a ottica fissa riuscendo a realizzare fotocamere molto leggere ma anche molto versatili soprattutto per chi viaggia e non ama portarsi dietro pesanti e costosi corredi fotografici. Ad implementare l'utilizzazione degli zoom sono stati anche i notevoli passi avanti fatti dai progettisti, che negli ultimi anni in sono stati in grado di realizzare obiettivi che molto si avvicinano alle caratteristiche di qualità degli obiettivi a focale fissa.

Il *diaframma* controlla la quantità di luce che penetra nella fotocamera, è sempre associato al-

l'obiettivo e dalla sua forma e dalla sua apertura dipendono anche la profondità di campo³⁶ e la qualità dello sfuocato o *bokeh*. La luminosità massima di una lente si calcola dividendo la lunghezza focale per il suo diametro massimo. Per diametro si intende la sua apertura effettiva, ovvero quella attraverso cui passa il fascio di luce, pertanto se un obiettivo 50 mm ha un diametro di mm 25 la luminosità massima sarà di 1,8 e la si esprime con $f/2$ oppure $f 2$ o $1:2$, con f che rappresenta la lunghezza focale. Dalla geometria per vedere raddoppiata l'area di un cerchio si deve moltiplicarla per 1,4142, quindi per raddoppiare la quantità di luce passante è necessario moltiplicare il diametro del diaframma per 1,4141, tale incremento è detto stop.

Un'ultima notazione che appartiene agli obiettivi specifici per architettura sono le ottiche decentrabili, sfruttando infatti la caratteristica di decentrare l'asse ottico dell'obiettivo hanno la possibilità di correggere la prospettiva (figura 3.42)³⁷.