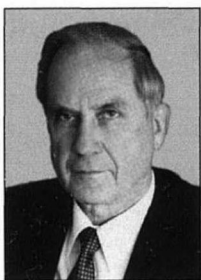
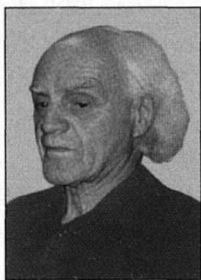




**Золотаревский Юрий Михайлович,** доктор технических наук, действительный член Метрологической академии Российской Федерации, заместитель директора ВНИИОФИ по науке. Окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1968 г. по специальности технология приборостроения, заведующий кафедрой оптико-физических измерений Академии стандартизации, метрологии и сертификации



**Иванов Вячеслав Семенович,** доктор технических наук, профессор, действительный член Метрологической академии Российской Федерации, директор ВНИИОФИ



**Котюк Андрей Федорович,** доктор технических наук, профессор, действительный член Метрологической академии Российской Федерации. Окончил Ленинградский Политехнический институт в 1949 г.

по специальности электротехнические приборы. Начальник лаборатории метрологии когерентного излучения



**Саприцкий Виктор Ильич,** доктор технических наук, профессор, действительный член Метрологической академии Российской Федерации. Начальник лаборатории радиометрии и фотометрии некогерентного излучения



**Столяревская Раиса Иосифовна,** доктор технических наук. Окончила Казанский государственный университет в 1968 г. Начальник сектора фотометрии

## Комбинированная осветительная установка «Arthelio» с полыми световодами\*

A. МИНГОЦЦИ, С. БОТТИГЛИОНИ, Р. КАСАЛОНЕ

Ricerca & Progetto \*\*, A.L.C.S.\*\*\*

Дневной свет – основной элемент зрительного комфорта, оказывающий благоприятное воздействие на физиологию и психологию человека [1].

Применение высокоэффективных полых световодов в помещениях без окон имеет широкие перспективы [2]. Световоды могут использоваться, например, для освещения станций метро или офисов в подземных помещениях, многоэтажных гаражей, подземных торговых центров и т.п. Обеспечивая зрительный комфорт, световоды позволяют экономить электроэнергию, расходуемую на освещение, а также на охлаждение помещений летом и обогрев их зимой.

Устройства для ввода солнечного излучения в помещения уже сейчас находят широкое применение во всем мире [3] и характеризуются большим разнообразием конструктивных технологических исполнений.

В настоящее время в продаже имеются различные конструкционные элементы, позволяющие концентрировать солнечное излучение на входных отверстиях световодов и повышать их экономическую эффективность [4].

Необходимость систематизации знаний по этому вопросу для определения критериев конструирования, развития и моделирования, а также для стандартизации измерений побудила поставить проект «Arthelio» по глубокому изучению вопросов, концентрации солнечного излучения, его передачи и использованию совместно с искусственным светом.

«Arthelio» – рациональная и энергетически оптимальная система освещения, основанная на комбинировании солнечного света и искусственного света от серных ламп. Это трехлетний проект, выполнявшийся в рамках ядерной энергетической программы

Европейского экономического Сообщества, начатой в январе 1998 г. и успешно завершённой в декабре 2000 г. [5].

«Arthelio» – это существенный этап в области знаний по транспортировке солнечного излучения, по определению критериев проектирования и методик измерений.

Проект ставил следующие задачи:

1. Анализ систем концентрации и транспортирования солнечного излучения.

2. Определение критериев проектирования, методики расчета и моделирования.

3. Создание специального гониофотометра для измерений светораспределения полых световодов.

4. Проверочный расчет ОУ с полыми световодами, созданными в Италии и Германии.

5. Изучение влияния соотношения естественного и искусственного света на зрительный комфорт.

6. Проектирование световодов.

Общая координация работ осуществлялась Берлинским Техническим университетом (TUB); в проекте участвовали фирмы Ricerca & Progetta (Италия), Semperlux (Германия) и A.L.C.S (Италия).

Был проведен тщательный анализ существующих систем концентрации солнечного излучения и его транспортировки.

Фирмой PRC был создан усовершенствованный гониофотометр, предназначенный для регистрации пространственного светораспределения излучения полых световодов (рис. 1).

Устройство для ввода излучения в помещение состоит из трех основных функциональных блоков: концентратора, световода и рассеивателя. Для определения оптимальных характеристик и эффективности этих блоков были изготовлены макеты в масштабе 1:5, на которых проводились измерения в течение целого года под реальным и искусственным небом. Параллельно выполнялись расчеты с использованием

\* Сокращенный перевод с англ. В.П. Жильцова.

\*\* Via di San Luca 11 – 40135 Bologna, Italy.

\*\*\* Via Borgo 13 – 14034 Castello di Annone (AT), Italia.

математического моделирования. Эти работы позволили определить критерии и методики упрощенного расчета систем, на основе которых были спроектированы и установлены в Италии и Германии две ОУ для различных типов зданий (рис. 2 и 3) [6].

Была предложена методика расчета и конструирования световодов для архитекторов, предназначенная для правильного использования и применения таких систем освещения.

**Усовершенствованная система концентрации солнечного света.** Усовершенствованная осветительная система с комбинацией солнечного и искусственного света была спроектирована фирмами Ricerca & Progetto, Болонья (А. Мингоцци, С. Боттиглиони, Дж. Фини) и A.L.C.S. – Asti (Р. Касалоне), в рамках проекта «Arthelio». Эта система установлена в здании Европейского дистрибуторского центра компании 3М в г. Карпиано близ Милана. В ней использован подвижный концентратор с вращением вокруг одной вертикальной оси. Для достижения высокой рентабельности здесь применено новое техническое решение с использованием простого механизма вращения концентратора (рис. 4).

При выполнении проекта «Arthelio» процесс проектирования был разделен на последовательные ступени:

- анализ состояния вопроса, включая различные обзоры, контрольные инспекции, интервью, изучение литературы и других проектов по данному вопросу;
- конструирование уменьшенных моделей концентраторов (1:5);

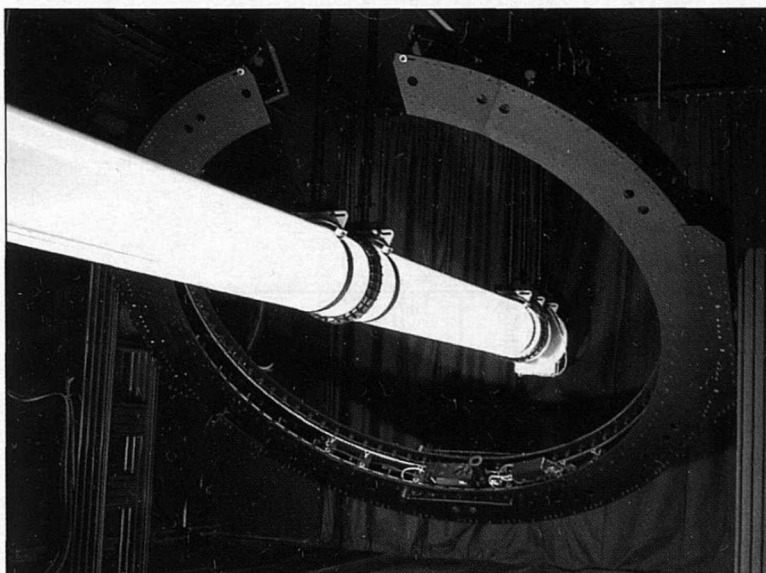


Рис. 1.  
Гониофотометр

- проведение математических расчетов параллельно с измерениями, проводимыми в реальных условиях и с использованием искусственного неба;

- изготовление модели концентратора в реальном масштабе, конструирование, метрологические обследования и математический расчет с целью оптимизации выбранного решения.

Система освещения направлена на достижение зрительного комфорта для людей, работающих в помещениях с искусственным светом. Эти люди берут коробки с полок и кладут их на ленту конвейера, который транспортирует их на места складирования. Таким образом, зрительная задача выполняется на большой площади, где освещение должно быть равномерным, а для повышения зрительного комфорта используется и дневной свет. Дневной свет, обеспечивающий зрительный комфорт, совмещается с искусствен-

ным, создающим равномерную освещенность на рабочем месте.

**Система функциональных блоков.** Усовершенствованное решение предлагает использовать простой механизм для поворота концентратора с высокими характеристиками и за счет этого снизить эксплуатационные расходы. При этом следует использовать специальные материалы и усовершенствованную технологию.

Система, использованная в Карпиано, составлена из следующих функциональных блоков: концентратора, вращающегося вокруг одной оси, световода длиной 13 м с круглым поперечным сечением и рассеивателя. Для искусственного света используются две серные лампы и два полых световода. Световой поток, излучаемый серными лампами, регулируется устройствами управления для получения необходимой освещенности. Имеется датчик

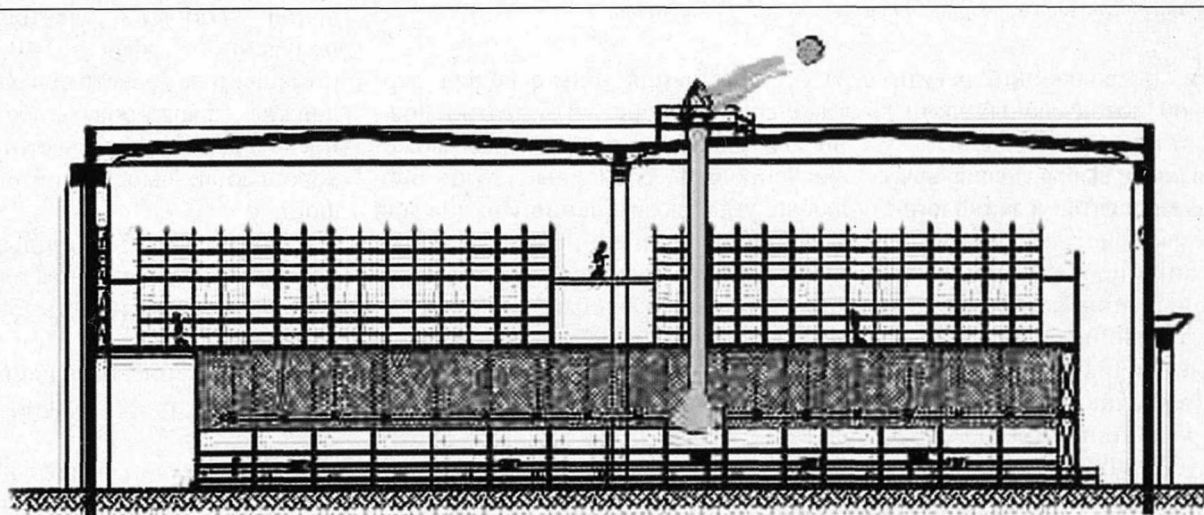


Рис. 2. Система с подвижным концентратором (одна ось вращения), установленная в здании Европейского центра компании 3М (Карпиано)



Рис. 3.  
Система  
с подвижным  
концентратором  
(две оси вращения),  
установленная  
в головном  
офисе фирмы  
Semperlux AG,  
Берлин)

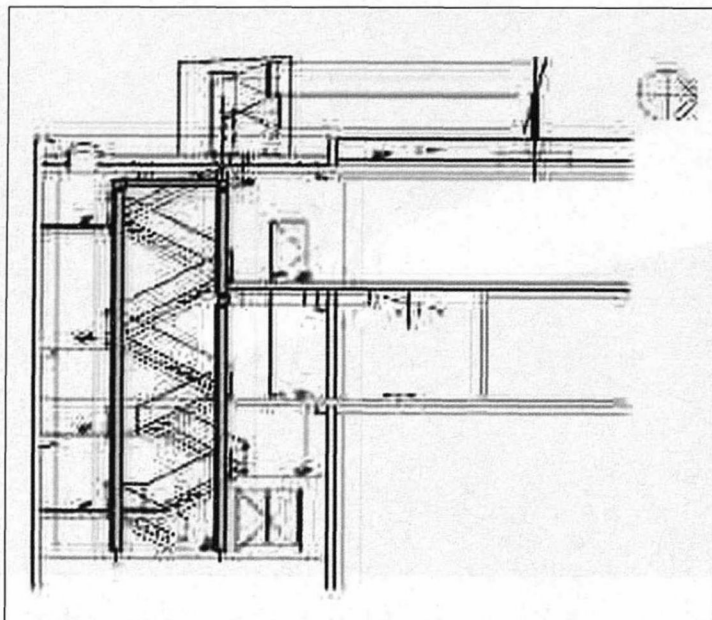


Рис. 4. Концентратор солнечного света, здание фирмы ЗМ, г. Карпиано

освещенности, позволяющий регулировать световой поток серных ламп в зависимости от внешних условий.

**Проектирование и выбор специальных материалов, компонентов и технологии.** Рассматриваемая система базируется на использовании простой технологии с целью уменьшения конструкционных и эксплуатационных затрат, а это возможно только при применении специальных материалов. По новой концепции построен концентратор, который использует световое излучение с максимальной эффективностью [7]. Благодаря использованию линз Френеля, концентратор может направлять излучение Солнца в нужную сторону

за счет вращения только вокруг вертикальной оси (рис. 5 и 6). Это возможно благодаря линзе, которая может фокусировать солнечные лучи при любых углах возвышения Солнца при его прохождении по небосводу. Сфокусированные лучи направляются зеркалом в вертикальный световод по возможности ближе к его оси. Зеркало имеет специальную форму для максимального собирания рассеянного света.

Световод имеет круглое поперечное сечение диаметром 90 см и общую длину более 13 м (рис. 7) и сделан из пленки с полным внутренним отражением.

Рассеиватель расположен на конце световода. В связи с большим размером невозможно равномерно распределить световое излучение по его поверхности. Однако рассеиватель имеет такую форму, что отражаемый им свет распространяется на большое расстояние (рис. 8). В рассеиватель подается также свет от серных ламп через полый горизонтальный световод. Лампы подключены к сети через электронные балласты со светорегуляторами. Такая система искусственного освещения создает равномерную освещенность на всей рабочей поверхности и, максимально используя дневной свет, не зависит от метеорологических условий и интенсивности солнечного излучения, изменяющегося в течение дня.

Автоматизированная система управления, содержащая датчики и электродвигатели, позволяет регулировать световой поток ламп таким образом, чтобы компенсировать изменения естественного освещения, и тем самым обеспечивает экономию электроэнергии.

Если дневного света достаточно, то он используется отдельно (без искусственного) и сохраняются его свойства, благоприятно влияющие на физиологию и психологию человека. А в ночное время искусственный свет восполняет недостаток естественного. Днем при недостаточной естественной освещенности и ночью свет от серных ламп поступает в соединительный модуль, обеспечивая необходимые условия освещения (рис. 9, а, б).

#### **Испытания осветительной установки.**

После монтажа такой ОУ были проведены испытания и контроль ее световых характеристик с целью определения экономии электроэнергии и полученного эффекта. В складских помещениях осветительная система должна гарантировать: безопасность, предотвращение несчастных случаев; хорошую видимость; зрительный комфорт.

В соответствии с итальянским национальным стандартом для этого необходима освещенность 150–200 лк на высоте 0,75 м от пола. При этом допустимое снижение освещенности в отдельных зонах не должно превышать 20 %.

При отсутствии людей в помещениях освещенность должна быть на уровне 180–190 лк в соответствии с требованиями по безопасности. При работе освещенность должна быть 270–290 лк.

Для управления серными лампами используются два датчика, позволяющих снижать мощность ламп.

Выполненные многочисленные измерения подтверждают, что комбинированная ОУ отвечает всем требованиям рабочего и дежурного освещения.

Высокая энергетическая эффективность комбинированной ОУ определяется следующими факторами: экономией электроэнергии за счет использования дневного света, использованием высокоэффективных РЛВД, использованием регуляторов в цепях питания серных ламп, снижающих их мощность при отсутствии людей в помещении.

Благодаря использованию естественного света удастся сэкономить в течение года 182,5 кВт·ч, применение РЛВД вместо ЛЛ экономит 42 % электроэнергии, использование светорегуляторов, снижающих мощность ламп в нерабочее время, обеспечивает общую экономию электроэнергии 67 %.

**Заключение.** Системы комбинированного освещения необходимо рассчитывать с учетом ряда специфических факторов, которые связаны с географическим положением ОУ, а также с наличием наружных затемняющих объектов, требований по зрительному комфорту, климатических особенностей и т.п.

Применение новых материалов с высоким коэффициентом пропускания и отражения позволяет создать еще более эффективные ОУ.

Осветительная установка «Arthelio» имеет простой механизм для поворота концентратора с линзами Френеля, конструкция которого может быть еще упрощена и стоимость изготовления уменьшена. ОУ такого типа подходят для использования в промышленных зданиях и перспективны там, где требуется улучшить освещение дневным светом и, комбинируя его с искусственным освещением, создать необходимые условия для выполнения зрительных задач внутри всего интерьера. Сооружения такого типа – это промышленные и коммерческие здания, подземные гаражи, подземные станции метро и т.п. – широко распространены в Европе, что открывает широкие возможности по внедрению осветительных систем со световодами в ближайшее время.

Применение световодов позволяет улучшить зрительный комфорт в подземных помещениях, улучшить среду

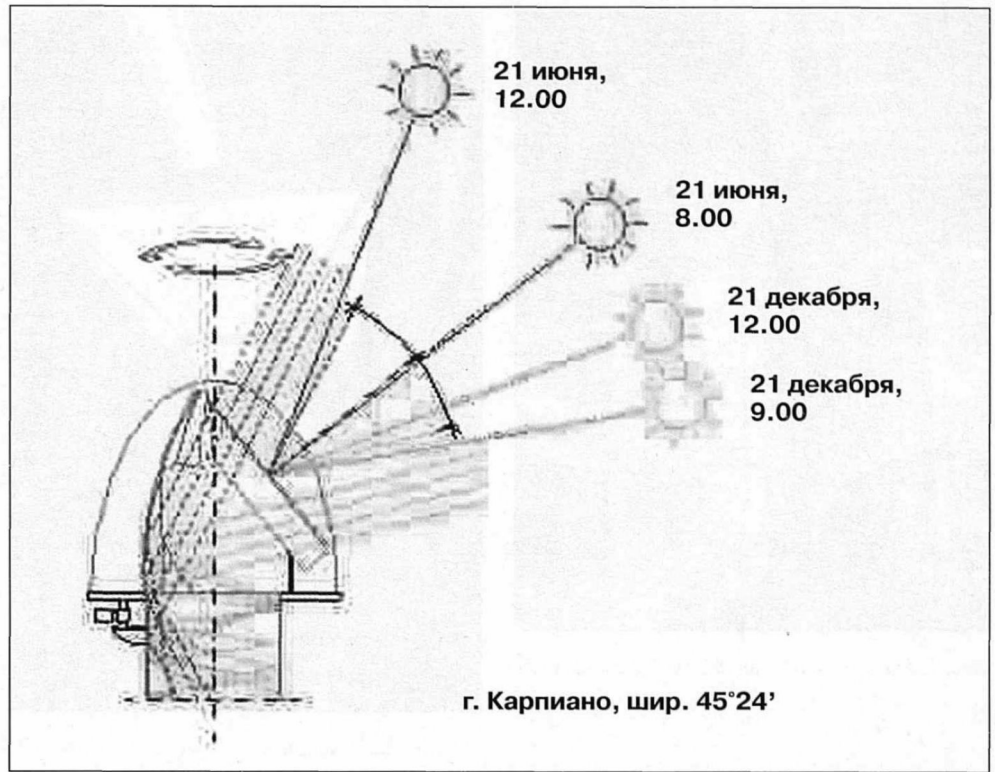


Рис. 5. Солнечные лучи в концентраторе фокусируются при почти любом положении Солнца



Рис. 6. Функциональная схема концентратора

обитания человека, и благодаря этому шире использовать подземные помещения в производственных целях.

В результате выполнения проекта «Arthelio» оказалось возможным классифицировать различные конструктивные разновидности и систематизировать полученные знания для дальнейшего использования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mingozi A. «Benessere illuminotecnico» cap.3.7 di: «Manuale di progettazione edilizia» (vol II, parte prima: «Criteri ambientali e

impianti», a cura di G. Raffellini) – Ed. Hoepli, Milano, 1994, pp. 206-211.

2. Mingozi A., Bottiglioni S. «Illuminamento di ambienti interni mediante condotti di luce naturale», cap. 3 di: «Le coperture innovative – Soluzioni progettuali e costruttive – SAIE 2000», ed. Il Sole 24 ore, Lavis (TN), 2000.

3. Mingozi A. «Integrazione luce naturale e luce artificiale», riv. «Flare, Architectural Lighting Magazine», N 24, Milano, 2000.

4. Bracale G. «Caratteristiche e prestazioni dei condotti di luce Solatube» appendice A, cap. 3 di: «Le coperture innovative – Soluzioni progettuali e costruttive – SAIE 2000», ed. Il Sole 24 ore, Lavis (TN), 2000.





Рис. 7. Внешний вид вертикального световода

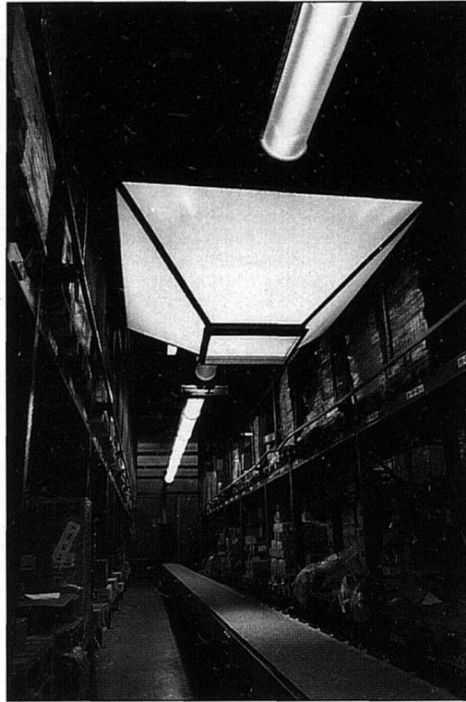


Рис. 8. Рассеиватель и горизонтальные световоды

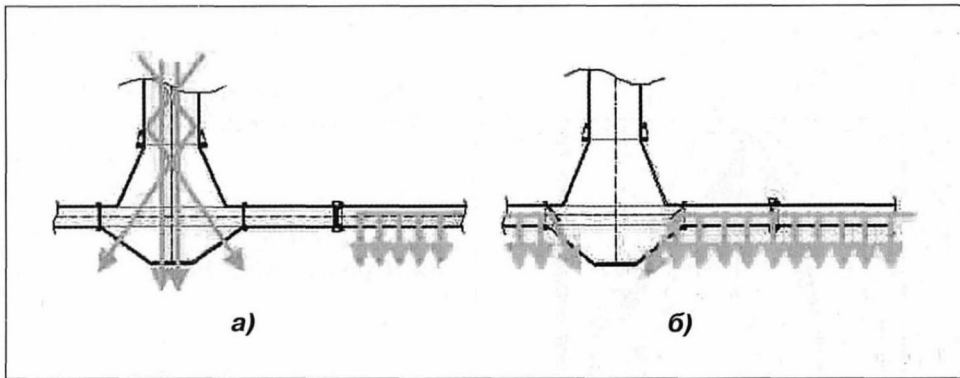


Рис. 9. Ход световых лучей:  
а – в дневное время; б – в ночное время

5. AA. VV. – (Arthelio consortium) «ARTHELIO: Final report», European Commission DG XII, Science Research and Development, Brussels, 2001.

6. AA. VV. – (Arthelio consortium) «Arthelio-Kombinierte einspeisung von tageslicht und kunstlicht in hohllichtleiterbeleuchtungssysteme», review Licht, N 11/12, Munchen, 2000.

7. Mingozzi A. «Strumenti e metodi per la progettazione di sistemi di controllo dell'illuminazione naturale: sistemi zenitali e di trasporto della luce», Ph.D. thesis – Ingegneria ergotecnica edile, VI ciclo, DISET, Politecnico di Milano 1994.

8. Mingozzi A., Bottiglioni S., «Portare il sole in una stanza», rivista Bioarchitettura n. 12/98 – ed. Direct, Montesilvano (PE), 1998.

9. Mingozzi A., «Sistemi per la captazione e il trasporto della luce naturale», rivista

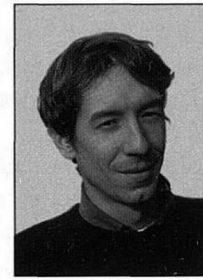
Ambiente Costruito, biotecnica, recupero, qualita in architettura, n. 3, ed. Maggioli, Rimini, 1997, 49.

10. Mingozzi A., «Theoretical criteria and experimental models for the study of a daylighting system to collect transport natural light and for the developing of a simplified design method», proceedings of the Thirteenth International Conference – PLEA '96 – at Catholic University of Louvain-La-Neuve, Belgium, July 1996: «Building and urban renewal» – Ed. and pub. by prof. Andri De Herde, Louvain-La-Neuve, 1996.

11. Mingozzi A., «A method to design daylighting systems to collect and transport natural light using a total internal reflection film», proceedings of the 4th European Conference on Architecture supported by the European Commission, Berlin, Germany, March 1996: «Solar energy in architecture and urban planning» Ed. H.S. Stephens, Bedford, 1996.



**Анжело Мингоцци (Angelo Mingozzi)** – ведущий специалист Ricerca & Progetto



**Серджи Боттиглиони (Sergio Bottiglioni)** – специалист фирмы Ricerca & Progetto



**Роберто Касалоне (Roberto Casalone)** – руководитель фирмы A.L.C.S. Advanced Lighting Consulting Services S.r.l.

#### Примечание от редакции

Вызывает удивление отсутствие упоминания о работе российских и швейцарских специалистов, выполненной в 1995–1996 годах по созданию осветительной установки «Heliobus» в четырехэтажном здании школы в городе Sent Gallen (Швейцария) и обеспечивающей с помощью гелиостата и полого протяженного световода дневное и искусственное освещение. Информация об установке «Heliobus» неоднократно опубликовывалась в журналах и на международных конференциях, в частности в журналах «Светотехника», 1996, №8, с.9–19; «Licht», 1997, №6, pp.509-515, № 10, pp. 796-800; на конференции «Lux-Europa-97», Amsterdam. May 1997.